



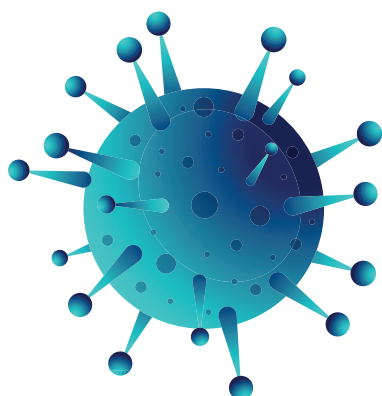
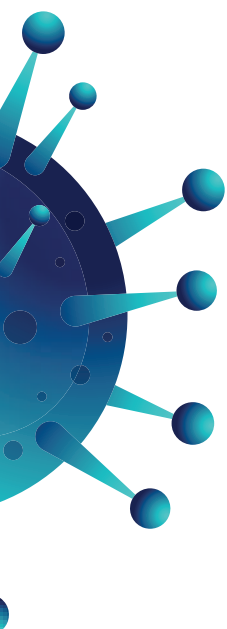
Politecnico
di Torino

RAPPORTO SCUOLE APERTE, SOCIETÀ PROTETTA

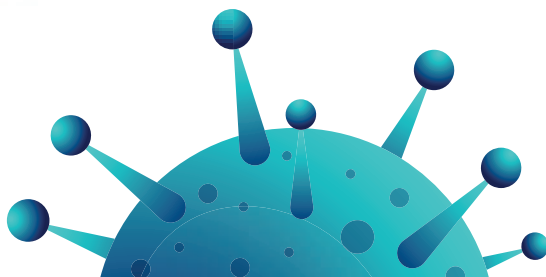
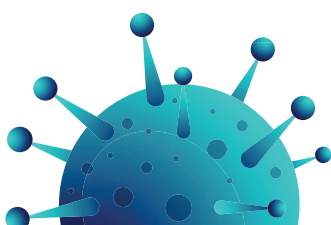
APPENDICE 4

“Trasformazione di spazi scolastici in aule didattiche”

Soluzioni e linee guida per trattamenti acustici reversibili



settembre 2021



RAPPORTO
**SCUOLE APERTE,
SOCIETÀ PROTETTA**

Trasformazione di spazi scolastici in aule didattiche

Soluzioni e linee guida per trattamenti acustici reversibili

BETA TEST:
scuole primarie - scuole secondarie di primo grado e di secondo grado



**Politecnico
di Torino**

Sommario

Nel presente studio si descrive la trasformazione in aule per la didattica di spazi scolastici nati per scopi diversi, sviluppando il tema del comfort acustico. Per ogni ambiente si illustra una possibile disposizione dei banchi e l'allestimento dello spazio con materiali fonoassorbenti, dando evidenza dei risultati acustici e comparandoli con i valori ottimali da normativa e con quelli degli ambienti allo stato di fatto.

Si intende fornire **una guida con soluzioni implementabili facilmente per diverse tipologie di edificio scolastico**, nel caso di ambienti simili, per forma e volumetria, a quelli utilizzati come casi studio.

Lo studio è nato dall'esigenza di poter disporre di spazi per la didattica più ampi dove sia possibile garantire il distanziamento fra gli occupanti richiesto per limitare il contagio da COVID 19, assicurando un'acustica funzionale allo svolgimento delle lezioni.

Sono state analizzate **8 scuole, Beta Test**, le quali rappresentano il patrimonio edilizio scolastico italiano, che è molto spesso lontano dagli standard acustici attuali e che spazia da edifici storici del XIX secolo e inizio XX secolo a edifici più recenti degli anni Sessanta e Settanta, per arrivare, seppure in numero minore, a nuove costruzioni del XXI secolo.

All'interno di queste scuole sono stati individuati diversi ambienti come le mense, le palestre e gli atri, che potessero essere **trasformati in spazi per la didattica tramite allestimenti reversibili ed economici che assicurassero una buona acustica**.

Per i primi 5 casi studio sono state effettuate misurazioni acustiche di tempo di riverberazione nello stato di fatto, grazie alle quali è stato possibile tarare i modelli di simulazione.

Per gli ultimi 3 Beta Test, invece, le analisi compiute sono rimaste a un livello più generale.

In questo secondo gruppo di scuole le soluzioni proposte sono meno specifiche, ma anche più importanti come realizzazione e dimensione di intervento rispetto ai primi casi studio, in modo tale che sia rappresentata una casistica di intervento il più ampia possibile.

La guida è pensata per i dirigenti scolastici, gli amministratori, i responsabili della sicurezza, gli architetti e gli ingegneri, gli acustici, e per tutti coloro che abbiano da risolvere problemi di conversione di spazi diversi in ambienti per la didattica. I contenuti, infatti, presentano **diversi gradi di approfondimento**, utili per le diverse figure professionali. Una legenda consente comunque la facile interpretazione dei risultati delle misurazioni e delle simulazioni acustiche.

Si precisa inoltre che le soluzioni proposte non sono del tutto ottimizzate dal punto di vista acustico, perché tale approccio avrebbe determinato un costo eccessivo per l'esecuzione dell'intervento. Si sono cercate delle soluzioni che determinassero una buona condizione acustica ad un costo accessibile, considerando la reversibilità degli interventi.

Per ogni soluzione è riportata la descrizione delle caratteristiche acustiche e tecnologiche dei manufatti per poterli scegliere sul mercato e l'indicazione di massima dei costi che comprendono anche la posa in opera.

Gli **ambienti analizzati** sono stati in totale **26**. Per ognuno di essi sono state compiute sia **analisi generali a livello di ambiente complessivo**, sia **analisi più specifiche per singoli ricettori** collocati nell'area occupata dagli studenti.

A cura di:

arch. Daniela I. Schiavon – danielailaria.schiavon@gmail.com

dott. Louena Shtrepi – louena.shtrepi@polito.it

prof.ssa Arianna Astolfi – arianna.astolfi@polito.it

Dipartimento Energia (DENERG), Politecnico di Torino

agosto 2021

Indice

Introduzione	5
1. Descrizione dello studio	11
1.1 Legenda	12
1.2 Volumi degli ambienti analizzati	15
1.3 Funzioni	16
1.4 Parametri acustici considerati	17
1.5 Disposizione degli spazi didattici	19
1.6 Simboli per i trattamenti acustici	21
1.7 Trattamenti acustici	22
1.8 Materiali acustici	27
1.9 Costi	31
1.10 Procedimento	34
2. Tabella risultati Beta Test	41
NOTE	42
Risultati Beta Test 01 scuola primaria	43
Risultati Beta Test 02 scuola secondaria I grado	44
Risultati Beta Test 03 scuola primaria	44
Risultati Beta Test 04 scuola primaria	45
Risultati Beta Test 05 scuola secondaria I grado	47
Risultati Beta Test 06 scuola secondaria II grado	48
Risultati Beta Test 07 scuola primaria, secondaria I e II grado	48
Risultati Beta Test 08 scuola secondaria II grado	48
3. Scuole Beta Test	49
NOTE	50
Beta Test 01 IC NICCOLÒ TOMMASEO	
scuola primaria Tommaseo	53
Beta Test 01 AUDITORIUM	55
Beta Test 01 PALESTRA	58
Beta Test 01 REFETTORIO 1	61
Beta Test 01 REFETTORIO 2	64
Beta Test 01 REFETTORIO 3	67
Beta Test 02 IC MATTEOTTI-PELLICO	
scuola secondaria di I grado Matteotti	70
Beta Test 02 ATRIO 1	72
Beta Test 02 ATRIO 2	75
OPZIONE TRATTAMENTO ACUSTICO OTTIMALE	78
Beta Test 03 IC PEYRON - RE UMBERTO I	
scuola primaria Re Umberto I	81
Beta Test 03 REFETTORIO 1	83
Beta Test 03 REFETTORIO 2	86
Beta Test 03 PALESTRA	89

Beta Test 04 IC PEYRON – RE UMBERTO I	
scuola primaria Re Umberto I	92
Beta Test 04 AULA INFORMATICA	94
Beta Test 04 SALA LETTURA	97
Beta Test 04 ATRIO 1	100
Beta Test 04 ATRIO 2	103
Beta Test 04 ATRIO 3	106
Beta Test 04 PALESTRA	109
OPZIONE TRATTAMENTO ACUSTICO OTTIMALE	112
Beta Test 04 TEATRO	115
Beta Test 04 REFETTORIO	118
Beta Test 05 IC PEYRON – RE UMBERTO I	
scuola secondaria di I grado Amedeo Peyron	121
Beta Test 05 REFETTORIO	123
Beta Test 05 AULA VIDEO	126
Beta Test 05 ATRIO	129
Beta Test 05 AULA DI SCIENZE	132
Beta Test 05 AULA MASTER	135
Beta Test 06 CONVITTO NAZIONALE UMBERTO I	
scuola secondaria di II grado	138
Beta Test 06 REFETTORIO	140
Beta Test 07 CONVITTO NAZIONALE UMBERTO I	
scuola primaria, secondaria di I e II grado	143
Beta Test 07 REFETTORIO	145
Beta Test 08 LICEO ALFIERI	148
Beta Test 08 PALESTRA	150
Conclusioni	153

Introduzione

L'obiettivo del presente studio è fornire una serie di possibili soluzioni di trattamento acustico per ambienti catalogati per dimensioni, forma e funzione, che diventano spazi per la didattica seppur nati per essere utilizzati per altre finalità.

Gli interventi proposti sono quelli minimi per migliorare le condizioni del comfort acustico attuale e consentire un migliore svolgimento delle lezioni scolastiche.

Il riferimento normativo è la UNI 11532-2:2020 *Caratteristiche acustiche interne di ambienti confinati – Metodi di progettazione e tecniche di valutazione – Parte 2: Settore scolastico* che è, però, una norma tecnica, non un obbligo di legge, e che diventa cogente solo attraverso i CAM, i Criteri Ambientali Minimi. L'applicazione dei CAM, però, è obbligatoria nei documenti progettuali e di gara per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici e, in particolar modo, il comfort acustico è preso in considerazione nei CAM per i progetti di interventi di nuova costruzione e interventi di ristrutturazione importante di primo livello.

L'utilizzo della suddetta norma UNI è quindi in questo caso una **buona pratica**, poiché in essa sono forniti valori dei parametri acustici aggiornati e in linea con quelli utilizzati in campo internazionale, che sono fondamentali per:

- garantire una trasmissione della parola efficace e una corretta comprensione, senza mascheramenti,
- garantire il minimo affaticamento e sforzo vocale dell'insegnante,
- avere un disturbo contenuto nel caso di più classi in compresenza.

I valori indicati nella UNI 11532-2 non potranno sempre essere completamente raggiunti, bensì sono dei valori ottimali a cui tendere per ottenere degli spazi per la didattica in cui le lezioni possano

svolgarsi nel miglior modo possibile.

In alcuni casi, nei quali i parametri acustici iniziali sono molto lontani dai valori ottimali e l'intervento proposto occupa un volume ridotto rispetto a quello totale (principalmente palestre e atri) non si riesce a rientrare, per l'intero ambiente, nei valori obiettivo da normativa tecnica, nonostante si ottengano grandi miglioramenti rispetto allo stato di fatto. Per fare ciò, infatti, si dovrebbe intervenire in maniera massiccia sull'intero spazio e non soltanto su una sua porzione.

Basandosi quindi sull'**ottimizzazione dell'intervento**, si è scelto di **fornire indicazioni per un trattamento acustico base** che possa essere **l'intervento minimo sufficiente per ottenere un buon comfort acustico nello spazio didattico in utilizzo, non nella sua totalità**.

Rimangono, però, ancora alcuni ambienti fuori dall'intervallo di conformità indicato dalla norma tecnica e per due di essi è stata quindi svolta un'ulteriore analisi, **proponendo un trattamento acustico aggiuntivo** che possa eventualmente essere svolto in una seconda fase, se non fosse possibile farlo immediatamente, e che possa consentire un ulteriore miglioramento del comfort acustico. **Questi due casi di trattamento ottimale, scelti a campione, rappresentano un esempio di intervento ulteriore per tutti gli ambienti simili**, che con il trattamento acustico base non riescono ad arrivare ai valori acustici ottimali.

Il testo è stato diviso in tre capitoli:

- 1. DESCRIZIONE DELLO STUDIO**, che fornisce le informazioni utili alla lettura delle singole schede, spiegando i simboli grafici e quelli tecnici, i parametri acustici utilizzati, i trattamenti acustici ipotizzati e il procedimento seguito;
- 2. TABELLA RISULTATI BETA TEST**, che riassume i

valori dei parametri acustici (stato di fatto, obiettivo e progetto) ottenuti per i 26 ambienti analizzati, catalogati per forma e funzione, e che può servire come raffronto immediato per ambienti similari;

- 3. SCUOLE BETA TEST**, nel quale sono presentate le schede di ogni scuola e ogni ambiente analizzato, per il quale sono indicate le ipotesi di utilizzo come spazio didattico, il relativo trattamento acustico e le simulazioni acustiche svolte per la verifica dei risultati.

1. DESCRIZIONE DELLO STUDIO

Nel **primo capitolo**, partendo dalla descrizione del metodo utilizzato per lo studio, sono definite le caratteristiche (forma e funzione) usate per catalogare gli ambienti, il procedimento e i parametri acustici considerati e i trattamenti acustici ipotizzati, descritti per schemi ed esempi di materiali e costi semplificati. In questa parte sono spiegati tutti i simboli successivamente riportati nelle schede.

2. TABELLA RISULTATI BETA TEST

Nel **secondo capitolo** si presenta il riassunto tabellare dei risultati di ogni ambiente analizzato, utile per avere un'immediata panoramica dei dati e per verificare in quale caso possa rientrare uno spazio terzo. I valori acustici inseriti sono descrittivi dell'ambiente nella sua totalità. Gli ambienti, divisi per scuola di appartenenza, sono classificati secondo i dati generali più importanti:

- funzione allo stato di fatto;
- forma, dimensioni geometriche (area di pavimento e volume) e presenza o meno di materiali acustici;
- numero di classi inserite e numero di studenti;
- valori dei parametri acustici (tempo di riverberazione medio e STI) obiettivo, misurati allo stato di fatto e calcolati allo stato di progetto (con trattamenti acustici).

3. SCUOLE BETA TEST

Nel **terzo capitolo** ogni scuola è descritta in una breve scheda che contiene una fotografia e dei dati generali, l'elenco degli ambienti analizzati con indicazione del relativo volume e le piante in vista assonometrica nelle quali sono evidenziati gli spazi studiati. Sono tratteggiate le piante non disponibili e comunque di non interesse.

A seguire, ogni ambiente, con la relativa ipotesi di utilizzo come spazio didattico, è descritto in tre schede.

SCHEDA DI CARATTERE GENERALE CON IPOTESI DI

TRATTAMENTO: comprende la pianta dell'edificio con indicazione dell'ambiente in analisi e fotografie dello stato di fatto, simboli di funzione, forma e trattamenti già presenti, disposizione dei banchi e volume rappresentativo dell'ambiente in progetto con indicazione dei trattamenti inseriti.

SCHEDA ACUSTICA 1 - ANALISI GENERALE: comprende il confronto, in bande di ottava, dei valori del tempo di riverberazione misurato allo stato di fatto, dei valori obiettivo secondo norma (ad ambiente arredato e occupato all'80%), dei valori per il collaudo (ambiente arredato e non occupato) e dei valori calcolati con il software di simulazione (ad ambiente arredato e occupato). I suddetti valori del tempo di riverberazione sono quelli medi dell'ambiente, validi per quest'ultimo nella sua totalità. Nella scheda sono inoltre raffrontate le mappe di indice di intelligibilità nello stato di progetto con e senza trattamento acustico, attraverso immagini tridimensionali assonometriche ricavate dal software di simulazione. Dalle due mappe si possono osservare i valori puntuali dello STI di tutta l'area di pavimento dell'ambiente, ovvero sia dell'area occupata dalla classe analizzata nella successiva analisi puntuale, sia, nel caso di atrio o di grande ambiente con più classi in compresenza, dell'area di un'eventuale altra classe o dello spazio libero di passaggio.

SCHEDA ACUSTICA 2 - ANALISI PUNTUALE: comprende due immagini ottenute dal software di simulazione dell'ambiente con e senza trattamento acustico (più i colori nei toni del rosso-giallo-marrone sono scuri, più il materiale è fonoassorbente) e i grafici ad istogrammi dei valori di indice di intelligibilità, livello di pressione sonora ponderato A e tempo di riverberazione medio ottenuti con la simulazione acustica nei 4 punti di ricezione per 4 configurazioni. Le simulazioni sono state infatti effettuate con due possibili sorgenti sonore direttive (insegnante seduta e insegnante in piedi) e con due configurazioni dell'ambiente usato come spazio didattico, con e senza trattamenti acustici, al fine di dimostrare l'importanza di un ambiente trattato acusticamente per un migliore svolgimento delle lezioni, sia per gli insegnanti, che potranno sforzare meno la propria voce, sia per gli alunni, che potranno ascoltare meglio ed essere aiutati nella concentrazione.

Al di sopra dei grafici ad istogrammi del tempo di riverberazione e dell'indice di intelligibilità sono stati inserite i valori, rispettivamente, obiettivo e obiettivo minimo e i relativi intervalli di conformità. Nella scheda sono inoltre inserite l'immagine tridimensionale con la posizione delle sorgenti e dei ricevitori e le medie dei valori di riverberazione e di indice di intelligibilità per i punti di ricezione inseriti, confrontate con i valori obiettivo secondo norma UNI 11532-2.

Le suddette medie sono state calcolate per tutti e quattro i punti di ricezione nel caso di ambiente con unica classe e solo per i primi tre punti nel caso di atri o di classi in compresenza (il quarto punto di ricezione è infatti inserito al di fuori dell'area didattica analizzata, nello spazio di passaggio o in una classe limitrofa).

I valori dei parametri acustici indicati in questa scheda sono specifici per i ricettori inseriti, sono

pertanto rappresentativi dell'area occupata dagli studenti e possono variare rispetto ai valori medi dell'ambiente complessivo, indicati nella scheda acustica di analisi generale.

SCUOLE BETA TEST

- 01_** IC Niccolò Tommaseo | Scuola Primaria *Tommaseo* – via dei Mille 15, Torino
- 02_** IC Matteotti-Pellico | Scuola Secondaria di I grado *Matteotti* – corso Sicilia 40, Torino
- 03_** IC Peyron – Re Umberto I | Scuola Primaria *Re Umberto I* – via Nizza 395, Torino
- 04_** IC Peyron – Re Umberto I | Scuola Primaria *Re Umberto I* – via Ventimiglia 128, Torino
- 05_** IC Peyron – Re Umberto I | Scuola Secondaria di I grado *Amedeo Peyron* – via Valenza 71, Torino
- 06_** Convitto Nazionale *Umberto I* | Scuola Secondaria di II grado – via Bertola 10, Torino
- 07_** Convitto Nazionale *Umberto I* | Scuola Primaria, Scuola Secondaria di I grado e Scuola Secondaria di II grado – via Bligny 1, Torino
- 08_** Liceo *Alfieri* – corso Dante 80, Torino

1

DESCRIZIONE DELLO STUDIO

1.1 | Legenda

Di seguito si elencano tutti i simboli e le diciture utilizzate nel presente studio.

$L_1, L_2, L_3, \dots$	lunghezze e larghezze dell'ambiente analizzato
H_1, H_2	altezze dell'ambiente analizzato
A_{pav}	area di pavimento dell'ambiente analizzato
V	volume dell'ambiente analizzato
$V_{\text{«aula»}}$	volume dello spazio didattico (usato negli ambienti aperti, quali gli atri)
$R1, R2, R3, R4$	ricevitori
$P1, P2, P3$	sorgenti sonore
STI	(<i>Speech Transmission Index</i>) indice di trasmissione del parlato, grandezza fisica che rappresenta la qualità della trasmissione del parlato in relazione all'intelligibilità
$STI_{\text{insegnante in piedi}} - STI_{\text{insegnante seduta}}$	indice di intelligibilità del parlato calcolato per le due posizioni di sorgente
$STI \text{ (female)}$	indice di intelligibilità del parlato adattato sullo spettro del parlato femminile
$STI \text{ (female)}_{\text{insegnante in piedi}}$	indice di intelligibilità del parlato adattato sullo spettro del parlato femminile e calcolato per la posizione di sorgente
$STI \text{ (female)}_{\text{insegnante seduta}}$	
T	tempo di riverberazione, tempo necessario perché il livello di pressione sonora si riduca di 60 dB successivamente all'interruzione della sorgente sonora
T_{30}	T ricavato dal tasso di decadimento indicato dalla regressione lineare dei minimi quadrati della curva di decadimento su un intervallo da -5 dB a -35 dB al di sotto del livello iniziale. <i>In letteratura si parla anche di T_{20}, un parametro che in questo studio non è però stato utilizzato, ovvero T ricavato dal tasso di decadimento indicato dalla regressione lineare dei minimi quadrati della curva di decadimento su un intervallo da -5 dB a -25 dB al di sotto del livello iniziale</i>
$T_m \text{ (250-500-1000-2000 Hz)}$	tempo di riverberazione medio calcolato nel range di frequenze da 250 Hz a 2000 Hz

T_{30, m} (250-500-1000-2000 Hz)	valore medio, calcolato nel range di frequenze da 250 Hz a 2000 Hz, del tempo di riverberazione ottenuto dalla curva di decadimento -5 dB a -35 dB <i>Si parla invece di T20, m (250-500-1000-2000 Hz) valore medio, calcolato nel range di frequenze da 250 Hz a 2000 Hz, quando si usa il tempo di riverberazione ottenuto dalla curva di decadimento -5 dB a -25 dB</i>
NC	(<i>Noise Criteria</i>) curve di valori in bande di ottava lineari, sviluppate per valutare il rumore negli ambienti interni, utili al fine della valutazione previsionale dello STI
SPL(A)	(A-weighted <i>Sound Pressure Level</i>) livello di pressione sonora ponderato A
Odeon	software di simulazione acustica (utilizzata la versione 15)
TlkNorm	sorgente sonora in ODEON, che simula la voce umana, con un segnale parlato direttivo e normale (normale ovvero segnale non basso né elevato)
Global Estimate	funzione di calcolo del software ODEON, utilizzata per le analisi dell'ambiente generale
Job	funzione di calcolo del software ODEON, utilizzata per le analisi puntuali dell'ambiente con singole valutazioni ai punti di ricezione, che simulano la posizione degli alunni

Di seguito si elencano le etichette utilizzate nei grafici del tempo di riverberazione in frequenza.

STATO DI FATTO

tempo di riverberazione misurato nella condizione attuale, ad ambiente arredato senza persone (presenti solo le due persone che hanno condotto le misure)

OBIETTIVO

tempo di riverberazione ottimale indicato dalla UNI 11532-2, ad ambiente arredato e occupato all'80%

PROGETTO

tempo di riverberazione nella condizione di progetto, calcolato con il software Odeon ad ambiente arredato e occupato

COLLAUDO

tempo di riverberazione nello stato di ambiente arredato e non occupato (condizione di verifica finale), ottenuto convertendo tramite la formula fornita dalla UNI 11532-2 i valori ricavati dal software Odeon per la condizione di progetto

**PROGETTO
OTTIMALE**

tempo di riverberazione nella condizione di progetto con trattamento fonoassorbente ottimale, calcolato con il software Odeon ad ambiente arredato e occupato

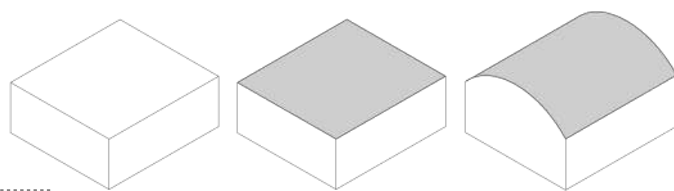
1.2 | Volumi degli ambienti analizzati

Il volume e la forma interna di uno spazio rivestono un'importanza fondamentale per il comfort acustico, poiché da essi dipendono il tempo di riverberazione e lo sviluppo di focalizzazioni sonore, *flutter echo* e riflessioni tardive, che influenzano diversi parametri acustici.

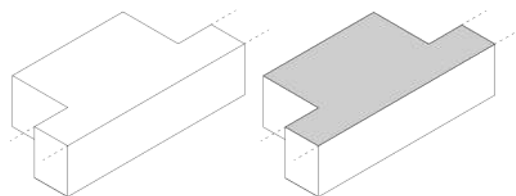
Di seguito sono rappresentati i volumi semplificati riscontrati negli ambienti oggetto di studio, rappresentativi degli spazi che si ritrovano in tutte le tipiche scuole italiane.

In GRIGIO si evidenziano le superfici ritrovate già acusticamente trattate, seppure con elementi di medio-basso assorbimento acustico.

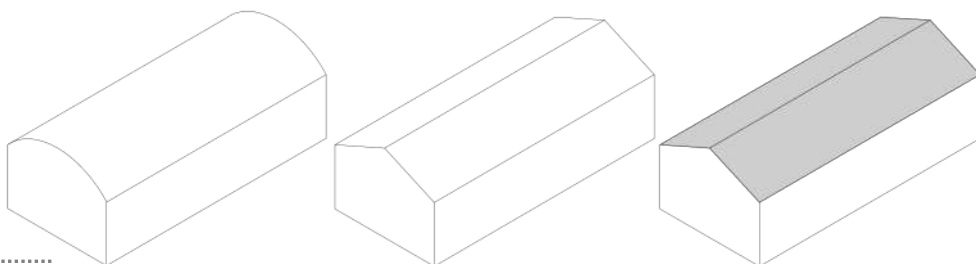
Ambienti di forma regolare, a pianta quadrata, con soffitto piano o voltato
AULE (di vario utilizzo), REFETTORI



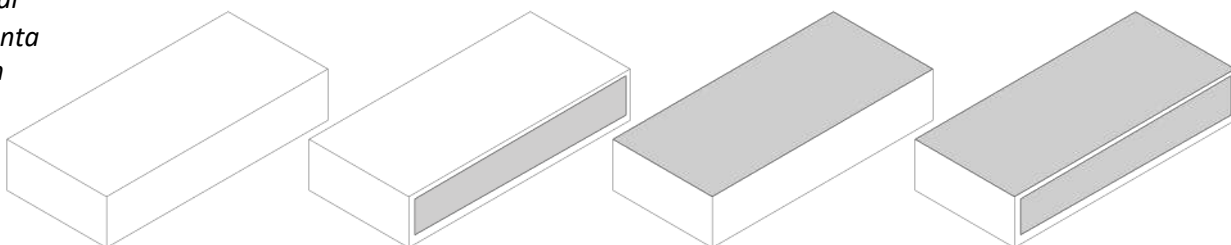
Ambienti aperti, di passaggio, con soffitto piano
ATRI



Ambienti di grandi dimensioni, a pianta rettangolare, con soffitto voltato o a capanna
PALESTRE



Ambienti di grandi dimensioni, a pianta rettangolare, con soffitto piano
AULE (di vario utilizzo), ATRI, REFETTORI



1.3 | Funzioni

Gli ambienti dei Beta Test non sono le convenzionali aule scolastiche per la didattica, ma aule «speciali» quali aule video, aule di scienze, oppure refettori, auditori, teatri, palestre e spazi di risulta quali gli atri.



AULA DI SCIENZE



PALESTRA



AULA INFORMATICA



AULA VIDEO



AUDITORIUM | AULA MASTER



TEATRO



SALA LETTURA



REFETTORIO



ATRIO

1.4 | Parametri acustici considerati

Per l'analisi dei diversi ambienti considerati sono stati valutati i seguenti parametri acustici:

- tempo di riverberazione (T)
- STI
- SPL(A)

L'SPL(A) non ha un diretto riferimento normativo ed è stato utilizzato per verificare l'ottenimento di una distribuzione il più possibile uniforme del livello di pressione sonora dell'oratore (insegnante) e il mantenimento di valori utili per la buona comprensione del segnale parlato.

Per quanto riguarda, invece, i valori ottimali dei primi due parametri acustici (T e STI), si è fatto riferimento alla **UNI 11532-2:2020 *Caratteristiche acustiche interne di ambienti confinati – Metodi di progettazione e tecniche di valutazione – Parte 2: Settore scolastico***.

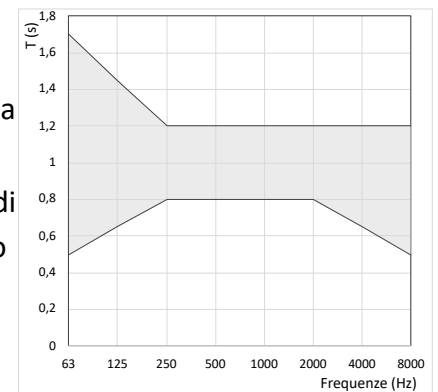
La norma divide gli ambienti in diverse categorie, da A1 a A6. Nello studio condotto, poiché l'obiettivo è ottenere spazi atti alla didattica in scuole primarie e secondarie di I e di II grado, **è stata scelta la categoria A3, ambienti per lezione/comunicazione**, con interazione insegnante-studente, adatta anche per persone con deficit uditivi o non madrelingua o con più oratori contemporanei.

Si ricorda che la suddetta norma UNI è una norma tecnica volontaria, al momento cogente solo nei casi di applicazione dei Criteri Ambientali Minimi (CAM). Nello svolgimento del presente studio, mancando degli obblighi di legge, vi si è quindi fatto riferimento come **linea guida di buona pratica**, soprattutto considerando che è una norma molto recente che descrive parametri acustici fino ad ora non considerati e fornisce valori obiettivo paragonabili, per la prima volta, a quelli usati in campo internazionale. I valori obiettivo sono quindi dei valori che si è cercato il più possibile di raggiungere in modo tale da consentire un notevole

miglioramento del comfort acustico rispetto alla condizione di partenza.

TEMPO DI RIVERBERAZIONE:

Tempo, espresso in secondi, necessario affinché il livello di pressione sonora si riduca di 60 dB, successivamente all'interruzione della sorgente sonora. Nella figura seguente è riportato l'intervallo di conformità del tempo di riverberazione riportato nella suddetta norma UNI.



VALORI OBIETTIVO DA UNI 11532-2:2020

tempo di riverberazione ottimale, considerato l'ambiente occupato all'80%

$$T_{\text{ott}, A3} = (0,32 \log V - 0,17)$$

$$30 \text{ m}^3 \leq V < 5000 \text{ m}^3$$

STI:

Lo *Speech Transmission Index*, STI, è la grandezza fisica che rappresenta la qualità della trasmissione del parlato in relazione all'intelligibilità.

L'indice STI varia da 0 a 1 e la sua relazione con la qualità della

comprensione del

parlato è indicata nella seguente tabella, in accordo con la CEI EN 60268-16.

$0 < \text{STI} \leq 0,3$	PESSIMO
$0,3 < \text{STI} \leq 0,45$	SCARSO
$0,45 < \text{STI} \leq 0,6$	DISCRETO
$0,6 < \text{STI} \leq 0,75$	BUONO
$0,75 < \text{STI} \leq 1$	ECCELLENTE

VALORI OBIETTIVO DA UNI 11532-2:2020

$\text{STI} \geq 0,55$ per spazi con $V < 250 \text{ m}^3$ senza impianto di amplificazione

$\text{STI} \geq 0,50$ per spazi con $V \geq 250 \text{ m}^3$ senza impianto di amplificazione

SPL(A):

Livello di pressione sonora, espresso in decibel, pesato secondo la curva di ponderazione A, che tiene in considerazione la sensibilità dell'apparato uditivo umano.

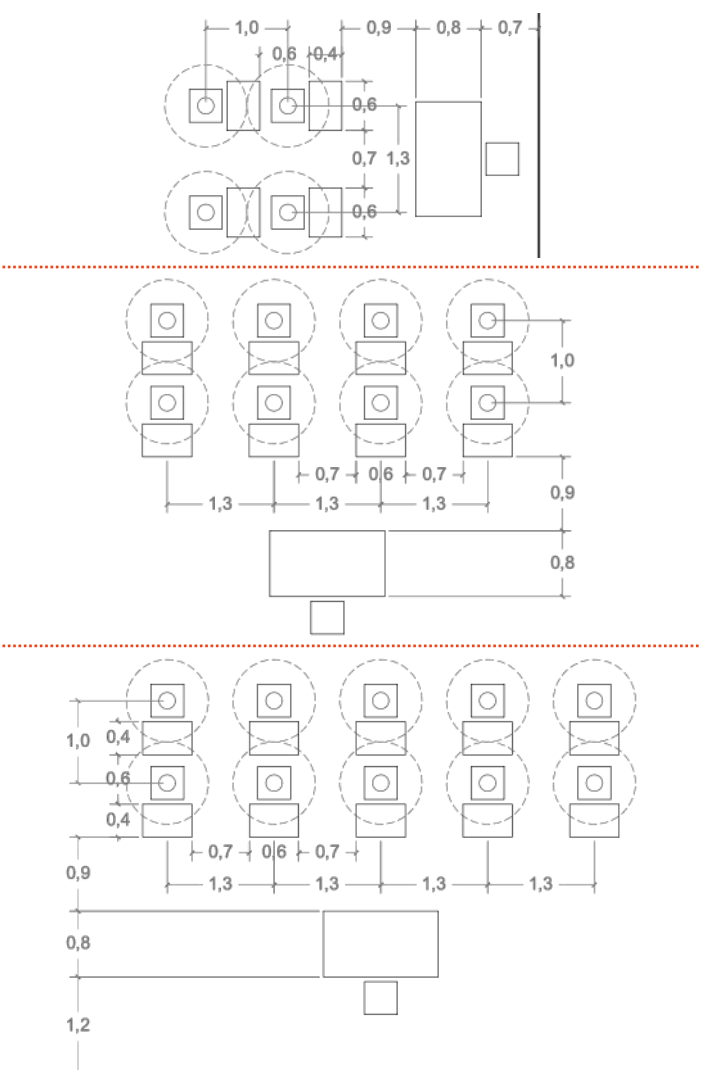
1.5| Disposizione degli spazi didattici

Il punto di partenza per l'analisi è stata la valutazione dell'inserimento di spazi per la didattica nei 26 ambienti oggetto di studio.

Utilizzando le linee guida per le distanze tra i banchi e tra questi ultimi e la cattedra e alcuni esempi di layout presentati dal MIUR¹, differenziati tra scuola primaria e scuola secondaria per le diverse dimensioni degli arredi, sono state fatte delle ipotesi per i nuovi spazi didattici. Nella maggioranza dei casi è stato considerato l'inserimento di una singola classe, in altri, invece, dove le dimensioni e la forma dell'ambiente lo consentivano, sono state considerate più classi in compresenza (da due fino a, in un refettorio, quattro classi).

Di seguito alcune disposizioni di layout utilizzate e riportate nelle schede dei singoli ambienti.

ESEMPI DI LAYOUT PER SCUOLE PRIMARIE

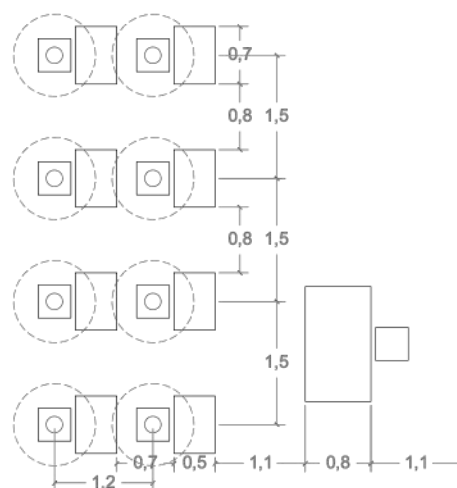
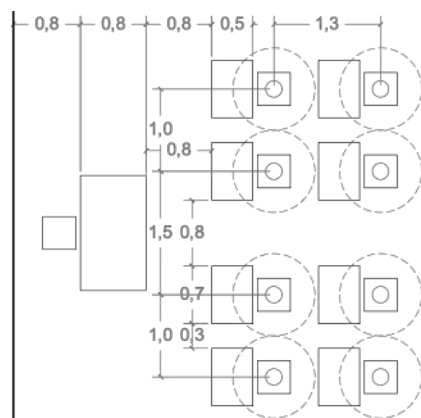
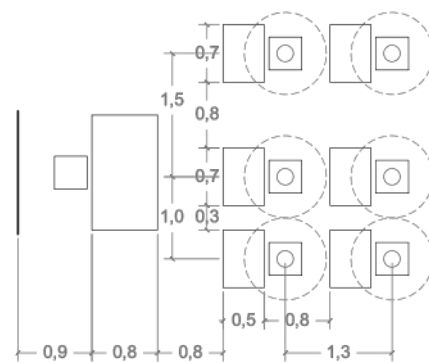
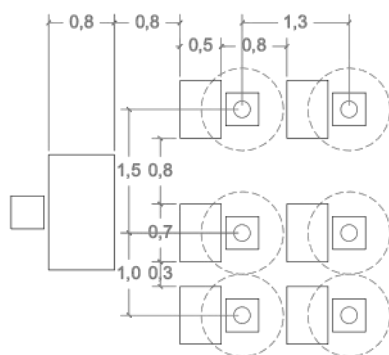
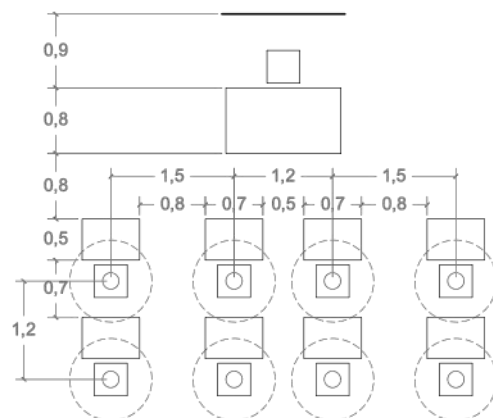
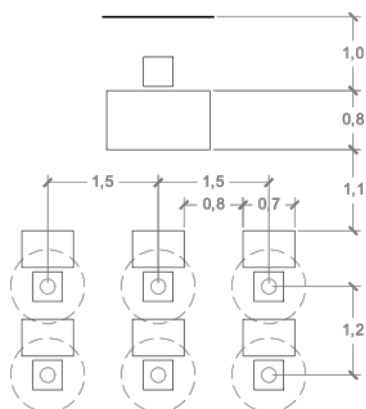
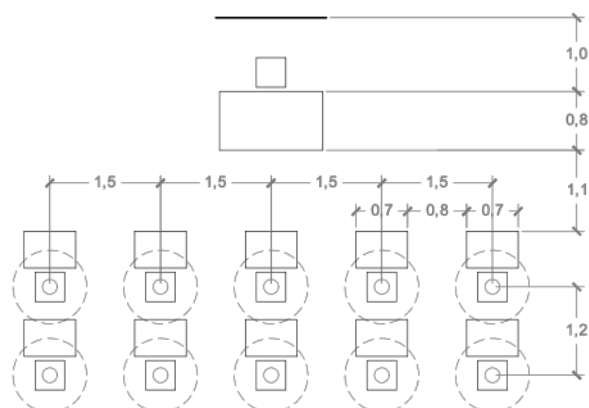


1

Riferimento alla normativa di riferimento generale e misure adottate per fronteggiare l'emergenza Covid-19 e in particolare a:

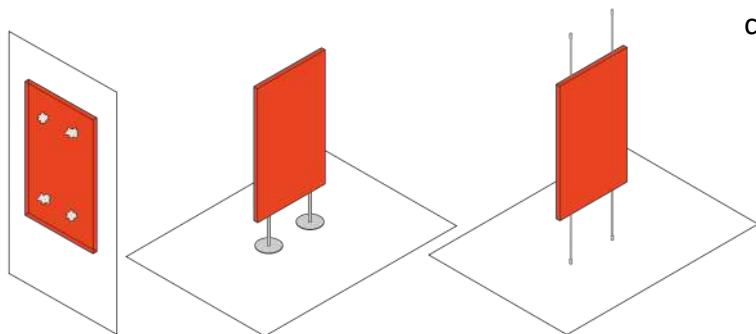
- Ministero dell'Istruzione Ufficio Regionale per il Veneto Direzione Generale, *PIANO PER LA RIPARTENZA 2020/2021. MANUALE OPERATIVO*, 7/7/2020;
- Ministero dell'Istruzione Ufficio Regionale per il Veneto Direzione Generale, *PIANO PER LA RIPARTENZA 2020/2021 – Precisazioni del C.T.S. – Ulteriori esempi di aule*, 14/7/2020;
- Comitato Tecnico Scientifico ex OO.C.D.P.C. 03/02/2020,n.630; 18/04/2020, n. 663; 15/05/2020 n.673, *DOCUMENTO TECNICO SULL'IPOTESI DI RIMODULAZIONE DELLE MISURE CONTENITIVE NEL SETTORE SCOLASTICO*, Stralcio Verbale n.82 della riunione tenuta, presso il Dipartimento della Protezione civile, il giorno 28 maggio 2020;
- *Piano scuola 2020-2021 – Documento per la pianificazione delle attività scolastiche, educative e formative in tutte le Istituzioni del Sistema nazionale di Istruzione*, Ministero dell'Istruzione, 26/6/2020.

ESEMPI DI LAYOUT
PER SCUOLE SECONDARIE (I E II GRADO)

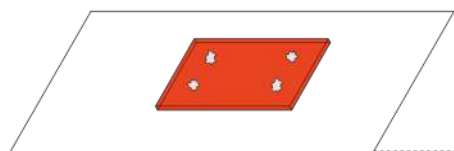


1.6| Simboli per i trattamenti acustici

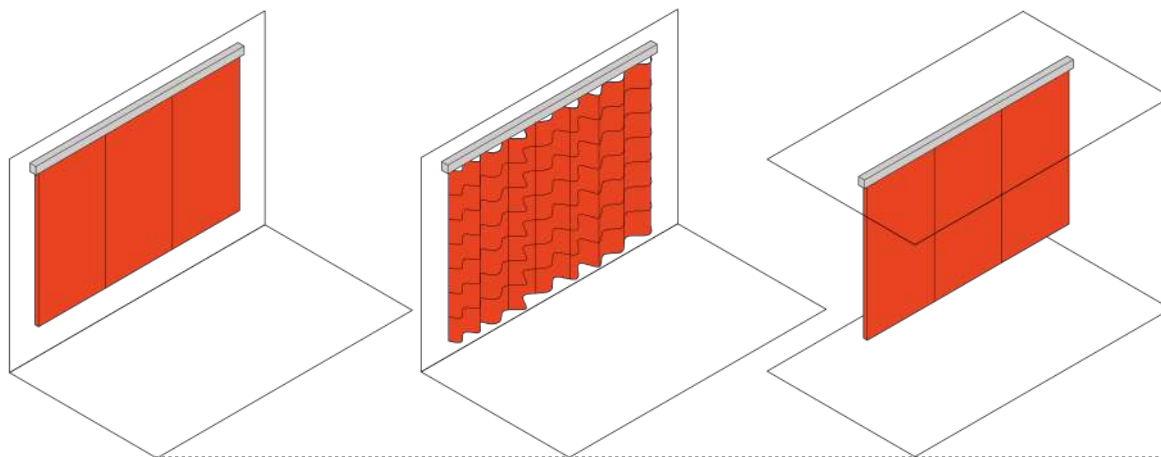
Di seguito si possono osservare gli schemi di posizionamento dei materiali fonoassorbenti considerati.



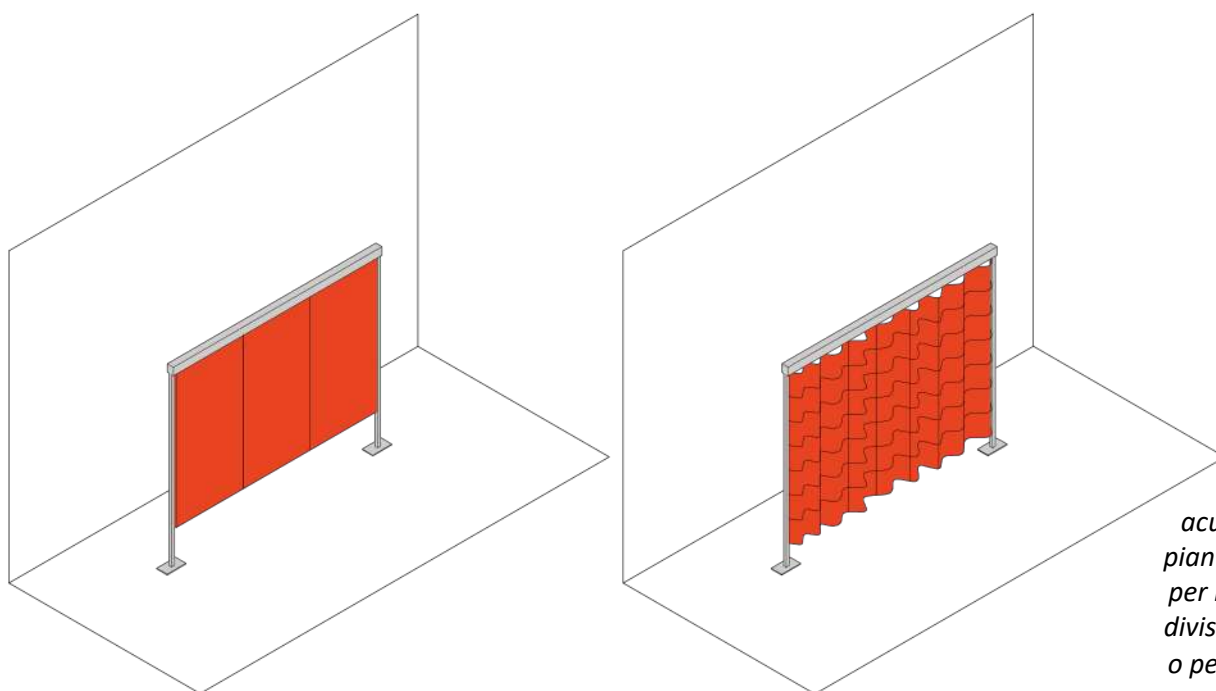
pannelli (in fibra di poliestere o in lane minerali rivestiti in tessuto o con apposite pitture acusticamente trasparenti) fissati come quadri a parete, senza bisogno di cornici, oppure installati su piantane a pavimento su cavi tesi tra soffitto e pavimento



pannelli (in fibra di poliestere o in lane minerali rivestiti in tessuto o con apposite pitture acusticamente trasparenti) fissati a soffitto



baffle o tende acustiche fissati a parete o a soffitto



baffle o tende acustiche sospese su piantane a pavimento per la realizzazione di divisori acustici mobili o per grandi ambienti

1.7 | Trattamenti acustici

Con l'obiettivo di migliorare le condizioni di comfort acustico degli spazi analizzati, per trasformarli in ambienti adatti a lezioni scolastiche e quindi al parlato, sono stati ipotizzati **interventi di trattamento acustico leggeri e di facile movimentazione**. Gli interventi proposti non sono completamente risolutivi dei problemi acustici riscontrati e non sempre possono essere posizionati dove meglio assolverebbero il loro scopo, poiché devono essere **reversibili, eseguibili in breve tempo e integrati** nel contesto esistente, considerato come non modificabile: sono previsti spostamenti di banchi, ma non del mobilio esistente (quale, per esempio, quello legato alle cucine nelle mense) o di quanto già presente sulle pareti.

È utile ricordare, inoltre, che il parco scolastico italiano è piuttosto datato e quasi mai rispondente agli standard acustici attuali. Gli interventi proposti prevedono la realizzazione di **spazi di compromesso**, che tendono ad una migliore qualità pur non raggiungendo sempre gli standard acustici ottimali.

RISULTATI

Attraverso questi interventi, si sono ottenuti dei buoni miglioramenti del comfort acustico, con valori dell'intelligibilità in linea con quanto richiesto dalla norma UNI 11532-2 e con notevoli riduzioni del tempo di riverberazione rispetto allo stato attuale. Dai grafici riportati nella *scheda acustica 2* di ogni ambiente, si può osservare anche la differenza in termini di risultati dei parametri acustici, che condizionano il benessere e un migliore svolgimento delle lezioni, tra lo spazio didattico nell'ambiente non trattato acusticamente (attuale) e lo spazio didattico nello stesso ambiente trattato acusticamente.

Con il tipo di interventi sopra descritti, però, **il miglioramento del tempo di riverberazione alle medio/basse frequenze** (nello specifico nelle bande di ottava 125 Hz e 250 Hz) è **raramente sufficiente**

per raggiungere l'intervallo di conformità, poiché ciò è fattibile solo nei casi in cui il tempo di riverberazione di partenza già non sia eccessivo, bensì vicino ai valori ottimali. Per avere dei miglioramenti alle suddette frequenze si dovrebbe agire con intercapedini e materiali differenti, che poco si adattano ad interventi facili, veloci, reversibili e dai costi contenuti.

In alcuni casi, però, il trattamento base, seppure porti ad un buon miglioramento, non consente il raggiungimento dell'intervallo di conformità del tempo di riverberazione a tutte le frequenze. Sono quindi stati svolti due esempi tipo di trattamento acustico aggiuntivo ottimale, nei quali è stata valutata un secondo inserimento aggiuntivo di materiali fonoassorbenti. Si deve notare, però, che con il trattamento base, i valori di STI, contrariamente a quelli di tempo di riverberazione, già rispondevano ai valori obiettivo minimo e che, ovviamente, con il trattamento ottimale, sono ulteriormente migliorati.

Nelle schede dei singoli ambienti è possibile osservare dove i trattamenti acustici sono stati inseriti nei vari specifici casi. **Di seguito si dettagliano, brevemente per punti, alcune indicazioni che dovrebbero essere seguite per il raggiungimento di un miglior comfort acustico².**

Per quanto riguarda il trattamento acustico che non serve come schermo e divisione tra due aule didattiche contemporanee, quest'ultimo deve essere **posizionato sulla parete di fondo e nella seconda metà delle pareti laterali quasi a tutta altezza** (è possibile lasciare non trattata la fascia più bassa, fino a circa 50 – 60 cm da terra), oltre alla **fascia alta della prima parte delle pareti laterali**, per lasciare la fascia bassa e centrale riflettente e di aiuto per convogliare la voce dell'insegnante verso gli ultimi banchi.

2

Le indicazioni riportate sono delle linee guida base per procedere con il trattamento fonoassorbente di ambienti didattici. Nel caso di ambienti particolarmente difficili, per dimensioni, configurazione geometrica, situazione acustica iniziale ecc., si consiglia di rivolgersi ad un consulente acustico.

CONSIGLI SUL POSIZIONAMENTO DEI TRATTAMENTI:

PARETI

CONSIGLI SUL POSIZIONAMENTO DEI TRATTAMENTI:
SOFFITTO

Nel caso di trattamento aggiuntivo a soffitto, quest'ultimo **dev'essere distribuito in maniera uniforme** ma essere evitato sopra l'area occupata dall'insegnante. Dalla sua sedia per circa 2 – 3 m in avanti, il soffitto dovrebbe essere lasciato riflettente, in modo tale da svolgere la funzione di specchio acustico e poter riflettere la voce dell'insegnante verso gli ultimi banchi. Si veda come esempio il trattamento ottimale considerato per l'atrio 2 del Beta Test 02.

CONSIGLI SUL POSIZIONAMENTO DEI TRATTAMENTI:
AULE IN COMPRESENZA, ALTEZZA NON ELEVATA

Quando vengono realizzate due o più aule temporanee in un unico spazio dall'altezza non elevata (ognuna delle quali ha un ingresso specifico), **il trattamento deve essere a tutta altezza**, per realizzare due ambienti separati e diminuire il più possibile la trasmissione delle voci dall'uno all'altro.

Se è possibile in termini di costi e spazi, è inoltre consigliabile utilizzare due file di pannelli o tende acustiche a separazione degli ambienti per aumentare il potere fonoisolante del sistema (seguendo le indicazioni di distanza dei produttori dei materiali che sono stati certificati). Per esempio, tra i casi analizzati, l'aula informatica del Beta Test 04 non consentiva il montaggio del doppio pannello, che è invece stato utilizzato nel refettorio del Beta Test 05.

CONSIGLI SUL POSIZIONAMENTO DEI TRATTAMENTI:
SPAZI DI PASSAGGIO

Qualora l'aula temporanea sia invece localizzata in uno spazio di passaggio (atrio), **il trattamento deve essere posto completamente intorno all'area occupata dagli alunni**, come a creare un «muro» mobile, e deve essere il più alto possibile per ridurre la riflessione sonora sul soffitto dall'aula verso l'area di passaggio e viceversa, seppure, in alcuni casi, potrebbe dover essere necessario lasciare uno spazio libero in alto per il passaggio della luce. Anche verso il pavimento è consigliabile chiudere il più possibile (nelle simulazioni sono stati considerati

CONSIGLI SUL POSIZIONAMENTO DEI TRATTAMENTI:

ALTEZZA ELEVATA

5 cm liberi in alcuni esempi e 20 cm in altri), ma è possibile lasciare fino ad un massimo di 40 cm.

Qualora l'ambiente abbia altezze molto elevate, come nel caso delle palestre, non potendo, da un punto di vista economico e di facilità di intervento, fissare la struttura del trattamento al soffitto, **l'intervento è stato pensato su piantane e solo fino ad un'altezza massima di 2,5 m** (tranne nella palestra del Beta Test 08, che è però un caso particolare). Questi divisori mobili non devono comunque avere un'altezza inferiore a 1,7 – 2,0 m, altrimenti avrebbero poca efficacia. Più si introducono file di banchi (maggiore quindi la larghezza dell'aula temporanea), più lo schermo deve essere alto. Questa altezza limitata e il non trattamento del soffitto, che risulta quindi assente sia per la componente di area riflettente necessaria per il rinforzo del messaggio sonoro dell'insegnante sia per quella fonoassorbente, non consentono la creazione di aree che possano rientrare appieno nelle condizioni suggerite per gli ambienti per la didattica, ma consentono di passare da condizioni insufficienti a condizioni sufficienti o buone.

CLASSI IN COMPRESENZA: QUALI ATTIVITÀ DIDATTICHE

Si suggerisce, nel caso di compresenza di più classi, di inserire attività più silenziose, di didattica frontale, ove sia principalmente l'insegnante a parlare e di lasciare invece le attività di gruppo in ambienti con singola classe, a meno che questo tipo di attività non sia contemporaneo in tutte le classi. È consigliabile pertanto avere o didattica frontale o attività di gruppo in tutte le classi in compresenza, invece di attività miste. Certamente, nel caso di attività di gruppo contemporanea in due o più classi nello stesso ambiente, il rumore di fondo sarà più elevato, poiché l'unico modo per ridurlo sarebbero interventi più strutturati, con anche eventuali schermature parziali a soffitto (per esempio con baffle oppure «isole» acustiche, ovvero pannelli

orizzontali sospesi e distanziati). In ogni caso, in questo tipo di attività è bene rispettare i valori minimi da normativa e le attese riguardo al comfort acustico sono inferiori rispetto a quelle della didattica frontale, in quanto è meno importante comprendere perfettamente quanto viene detto dalla cattedra -poiché la sorgente sonora da udire non è situata in quel punto-, rispetto a quello che succede immediatamente a fianco al ricevitore. In questo tipo di attività è infatti rilevante la comprensione all'interno di piccoli gruppi di lavoro di studenti vicini, mentre le eventuali indicazioni dell'insegnante sono quelle di una sorgente mobile che si muove tra i diversi gruppi.

1.8 | Materiali acustici

Sul mercato esistono moltissimi materiali acustici, fonoassorbenti e/o fonoisolanti, con diverse finiture, sistemi di montaggio e applicazioni.

Nelle simulazioni degli spazi analizzati nei Beta Test sono stati utilizzati:

- **materiali fonoassorbenti di tipo poroso o fibroso;**
- **pannelli/tende di separazione** con caratteristiche fonoassorbenti e fonoisolanti;
- **“conchiglia acustica” riflettente.**

MATERIALI FONOASSORBENTI DI TIPO POROSO O FIBROSO

Questi materiali devono essere caratterizzati da un coefficiente di fonoassorbimento $\alpha_w \geq 0,8$ (in accordo con la UNI EN ISO 354 e la UNI EN ISO 11654). Andando a trattare superfici maggiori rispetto a quelle considerate nel presente studio, è possibile utilizzare materiali con $\alpha_w \geq 0,7$.

PANNELLI/TENDE DI SEPARAZIONE

I divisori di aree per la didattica in spazi aperti di passaggio oppure di due o più aree didattiche in compresenza nello stesso spazio chiuso, devono avere un indice di potere fonoisolante per singolo layer $R_w \geq 18 \text{ dB}$ (in accordo con la UNI EN ISO 10140-2 e la UNI EN ISO 717-1). Nel caso di divisori di grandi dimensioni e con chiusure complete, è possibile usare prodotti con $R_w \geq 16 \text{ dB}$. Si raccomanda, nel caso di elementi di pari costo ed aspetto estetico e funzionale, di optare per il prodotto con l' R_w più alto.

CONCHIGLIA ACUSTICA

La “conchiglia acustica” riflettente deve essere realizzata preferibilmente in materiali con massa superficiale superiore ai 20 kg/m^2 e con i pannelli inclinati per dirigere il suono sugli studenti e non sulla parete di separazione fra le aule o sulle pareti laterali. La conchiglia acustica non è stata considerata nei casi di presenza di parete dietro la cattedra, pareti laterali dritte vicino alla cattedra e soffitto non trattato acusticamente e non avente un'altezza eccessiva. In questi casi, infatti, questi tre elementi

aiutano a proiettare la voce dell'insegnante verso il fondo dell'aula, poiché è su di essi che si sviluppano le prime riflessioni utili che incrementano il suono diretto.

Nei grandi ambienti, invece, caratterizzati da altezze elevate, oppure nel caso di soffitto concavi o qualora non sia presente una parete dietro la cattedra e le pareti laterali siano troppo distanti, manca questo rinforzo del suono diretto e la conchiglia acustica serve per direzionare verso gli studenti la voce dell'insegnante.

Di seguito si può osservare la tabella con i coefficienti di fonoassorbimento dei materiali fonoassorbenti usati nel software ODEON.

Materiale	Coefficiente di assorbimento α in bande di ottava, alla frequenza centrale in Hz							
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
pannello in fibra di poliestere sp. 45 mm, montaggio in aderenza	0,10*	0,23	0,50	0,84	0,95**	0,95**	0,91	0,90*
pannelli baffle in fibre riciclate, intercapedine di 100 mm	0,15*	0,49	0,50	0,79	0,95**	0,95**	0,95**	0,90*
tendaggi in doppia ricchezza, circa 410 g/m ² intercapedine di 150 mm	0,07*	0,12	0,61	0,95**	0,95**	0,95**	0,95**	0,90*
tendaggi a pannelli piatti, circa 410 g/m ² intercapedine di 150 mm	0,03*	0,07	0,40	0,74	0,70	0,72	0,73	0,70*
conchiglia acustica	0,10	0,10	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02

* Questi valori non sono presenti nella scheda tecnica del materiale e sono stati stimati per completare la caratterizzazione richiesta da Odeon

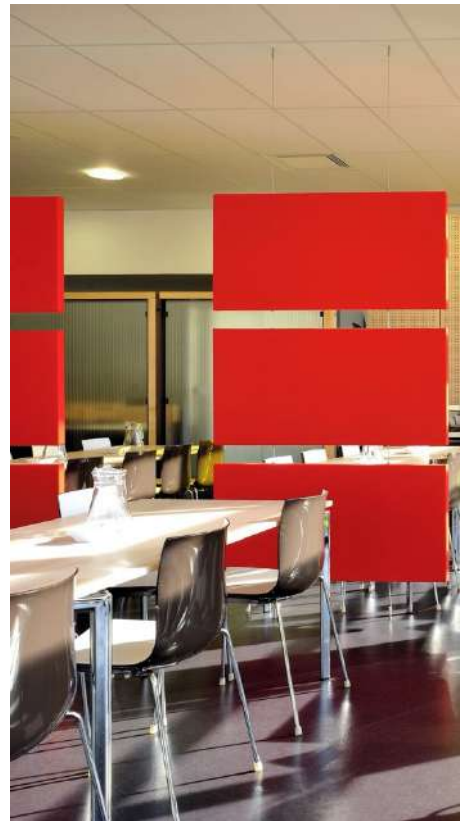
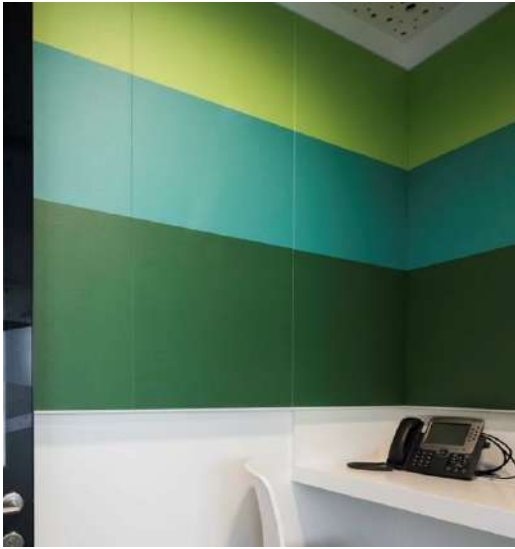
** Questi valori erano superiori a 1 nelle schede tecniche e sono stati cautelativamente diminuiti.

Di seguito si presentano alcune immagini³, per meglio rappresentare i materiali descritti nel paragrafo precedente.

Queste fotografie, pubblicate sui siti di diversi produttori di pannelli acustici, rappresentano la vasta disponibilità di pannelli attualmente sul mercato, disponibili in diversi materiali (fibra di poliestere, tessuto, lana di vetro e di roccia) e con diverse finiture: tessuto non tessuto, rivestimento in pittura acustica o tessuto bianchi, colorati o con stampe.

3

Le immagini riportate sono state prese dai cataloghi e dalle gallerie fotografiche di diversi produttori di materiali fonoassorbenti, nazionali e internazionali, pubblicati online sui rispettivi siti internet. Nel presente testo si è preferito non citare i nomi delle suddette aziende, non potendo elencare tutte quelle esistenti e non volendone privilegiarne alcune rispetto ad altre. Le immagini sono state inserite a mero titolo indicativo, per dare delle suggestioni visive di possibili soluzioni, e non sono di proprietà del Politecnico di Torino.





1.9 | Costi

Come anticipato nel precedente paragrafo, **sul mercato sono disponibili moltissimi pannelli e materiali fonoassorbenti, con diverse finiture e vari sistemi di fissaggio**, elementi che influenzano molto il prezzo finale dei prodotti.

La FINITURA è il primo elemento discriminante nel costo e un pannello rivestito in tessuto è più costoso rispetto ad uno base in fibra di poliestere o uno in lana minerale rivestito con specifica pittura trasparente al suono, poiché per la sua realizzazione sono richiesti più materiali e maggiore tempo di manodopera. Un pannello stampato, può costare anche il doppio rispetto allo stesso nella versione base bianca, ma una stampa a tinta unita, per alcuni produttori, ha un costo di poco superiore alla versione base rispetto a una stampa con una fotografia a scelta. Bisogna inoltre ricordare che in taluni casi potrebbero essere applicati costi di settaggio della macchina di stampa e richiesti quantitativi minimi. Se quest'ultimi non venissero soddisfatti, potrebbero essere convertiti in una maggiorazione del prezzo da parte dell'impresa, che si caricherebbe dell'acquisto aggiuntivo di materiale non immediatamente rivenduto.

Un secondo elemento caratterizzante il prezzo è la FORMA: elementi squadrati hanno un prezzo inferiore rispetto a quelli tondi e più le dimensioni diminuiscono o aumentano in formati extra, più il prezzo sale.

Il SISTEMA DI FISSAGGIO non è poi meno importante: se quasi tutti i pannelli possono essere applicati a parete o a soffitto con specifico collante, alcuni pannelli in fibra di poliestere possono essere fissati anche con velcro, mentre i pannelli in lana minerale o rivestiti in tessuto necessitano di piccoli sistemi metallici, naturalmente più costosi. Tra il primo e il secondo sistema, però, c'è una forte differenza nel riuso dei materiali (dovendoli

spostare in un altro ambiente, per esempio), poiché il retro del pannello potrebbe rimanere rovinato e si potrebbero avere problemi di aderenza (nel caso del velcro) oppure, in maniera più grave, il pannello fissato con colla si potrebbe rompere durante il tentativo di rimozione. La colla è per sua stessa natura un legante duraturo e non è concepita per smettere di funzionare dopo un certo periodo. Al contrario, il «sistema di aggancio a quadro» consente una naturale rimozione dell'elemento: all'acquisto il pannello con il suo sistema potrebbe sembrare più caro, ma in realtà è più economico nel tempo, poiché ha una maggiore possibilità di riuso.

Un'altra variabile che influenza molto il costo è poi la MANODOPERA. Un pannello A, per esempio, può sembrare meno costoso, perché il suo prezzo da listino è inferiore a quello del pannello B, ma nella realtà i due prezzi totali di fornitura e posa in opera diventano uguali (o si invertono) nel momento in cui si conteggia anche il prezzo di posa. Il pannello A potrebbe infatti richiedere molto più tempo per il suo montaggio, al contrario del pannello B, che potrebbe essere caratterizzato da una posa in opera molto semplice.

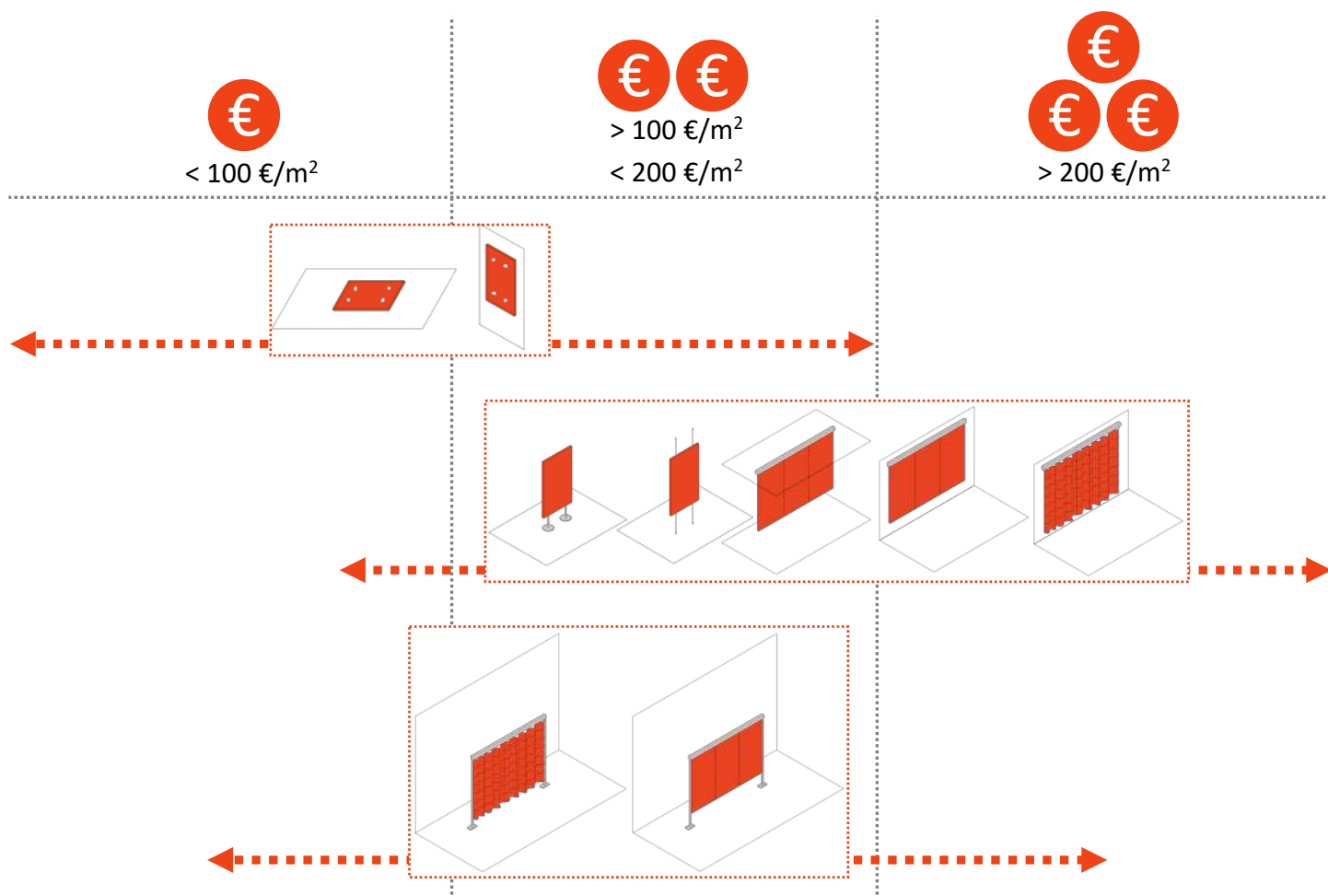
Date le numerose variabili, **indicare quindi dei prezzi esatti è molto complesso**, anche perché, oltre alle quattro caratteristiche sopra brevemente descritte (finitura, forma, sistema di montaggio, manodopera), entrano in gioco:

- le **specifiche caratteristiche dell'ambiente** dove l'elemento acustico deve essere inserito (soffitti molto alti e conseguente difficoltà nel fissaggio, pareti non forabili con viti, ecc.);
- le **necessità dei fruitori dell'ambiente** (tende ad apertura meccanica, sistemi mobili con rotelle per lo spostamento degli elementi acustici, ecc.).

Per esempio, un divisorio fonoassorbente e fonoisolante realizzato con pannelli trapuntati

appesi su una struttura metallica mobile è caratterizzato da materiale base molto economico ($< 25 \text{ €/m}^2$), richiede una manodopera poco specializzata, un montaggio molto breve e poca manutenzione nel tempo, ma il suo prezzo a metro quadrato potrebbe risultare elevato poiché modificato verso l'alto dal costo della struttura di supporto.

Utilizzando i listini di diversi produttori di materiali e stimando le ore per il montaggio, sono state formate tre categorie di prezzo per la fornitura e posa in opera, utilizzate per classificare gli interventi proposti. Da questa media dei prezzi sono però state tolte le occorrenze eccezionali (finitura particolarmente ricercate o di design, strutture specifiche, ecc.). I trattamenti acustici sono stati inseriti con il loro range di prezzo, che risulta dipendente dalle caratteristiche sopra descritte.



1.10| Procedimento

Di seguito si descrive il procedimento che è stato seguito per l'analisi degli ambienti considerati nelle scuole Beta Test.

1

INDAGINE DELL'ESISTENTE con misure in campo del tempo di riverberazione in condizioni di ambiente non occupato.

2

INDICAZIONE DELLA FUNZIONE, DELLA FORMA E DELLE DIMENSIONI GEOMETRICHE BASE.

Per gli ambienti aperti (atri), è stato indicato sia il volume di effettivo utilizzo per la nuova aula didattica, sia il volume più grande inserito nel modello di simulazione acustica.

3

Inserimento della possibile **DISTRIBUZIONE DEI BANCHI**, come da indicazioni MIUR.

4

Individuazione del **VALORE OBIETTIVO DEL TEMPO DI RIVERBERAZIONE** e del relativo intervallo di conformità secondo formula da norma tecnica (ambiente arredato e occupato all'80%).

5

SVILUPPO DI UN MODELLO TRIDIMENSIONALE dello stato di fatto e TARATURA ACUSTICA eseguita tramite il software ODEON, versione 15, un software di calcolo che si basa su modelli CAD tridimensionali per la ricostruzione del campo sonoro e che lavora combinando il metodo delle sorgenti immagini e un algoritmo *ray-tracing* modificato per fornire diversi parametri di valutazione acustica. Il modello è semplificato e non riproduce tutti i più piccoli dettagli presenti, che sono invece tenuti in considerazione nel momento dell'assegnazione delle proprietà dei materiali, ma è rappresentativo delle caratteristiche geometriche dell'ambiente.

6

CARATTERIZZAZIONE ACUSTICA DI TUTTE LE SUPERFICI DEL MODELLO TRIDIMENSIONALE con i **coefficienti di fonoassorbimento** di materiali

analoghi disponibili in letteratura. Tali coefficienti sono quindi stati tarati per ogni ambiente al fine del raggiungimento del tempo di riverberazione misurato.

A tutte le superfici è stato inoltre assegnato un valore di *scattering*, per caratterizzarne la rugosità e i piccoli dettagli persi nella modellazione tridimensionale. Di seguito si elencano i **coefficienti di *scattering*** assegnati:

- 0,01 per tutte le superfici generiche
- 0,15 per le parti di parete con termosifoni
- 0,15 per le facciate leggere con montanti (*scuola Matteotti*)
- 0,15 per il controsoffitto con piccole intercapedini tra gli elementi modulari (*auditorium scuola Tommaseo e palestra scuola Peyron di via Nizza*)
- 0,15 per arredi esistenti (*in presenza di diversi dettagli e oggetti*)
- 0,30 per i banchi esistenti
- 0,30 per scaffali libri
- 0,50 per platea esistente

La **taratura** è stata svolta confrontando il tempo di riverberazione misurato con quello ottenuto tramite il software ODEON, nel quale è stata inserita in ambiente una sorgente omnidirezionale (sorgente P1, vedasi punto 11).

7

VERIFICA DEL TRATTAMENTO ACUSTICO MINIMO

per il raggiungimento dei valori obiettivo con calcolo basato su formula di Sabine del tempo di riverberazione, prima della più approfondita analisi con il software di simulazione Odeon.

8

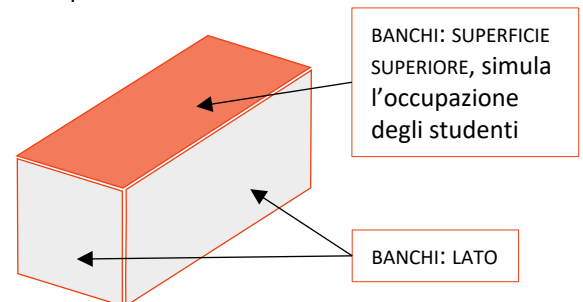
SVILUPPO DEL MODELLO TRIDIMENSIONALE PER LA SIMULAZIONE ACUSTICA dello stato di progetto

con **trattamento acustico**, con inserimento dei banchi (ambiente occupato), della cattedra e dei trattamenti acustici necessari. Per le superfici già presenti nello stato di fatto sono stati utilizzati i

coefficienti di fonoassorbimento precedentemente tarati, per gli elementi fonoassorbenti aggiuntivi sono stati utilizzati quelli forniti dai produttori (si veda il successivo paragrafo 8), per la cattedra e i banchi e per gli studenti sono stati presi i coefficienti α inseriti nel prospetto C.2 della UNI EN 12354-6:2006.

Superficie	Nome elemento in UNI EN 12354-6	Coefficiente di assorbimento α in bande di ottava, alla frequenza centrale in Hz							
		63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
1) BANCHI: SUPERFICIE SUPERIORE	Bambini in un'aula con mobili rigidi, 1 per ogni area di 1 m ²	0,05*	0,10	0,20	0,25	0,35	0,40	0,40	0,40*
2) BANCHI: LATO 3) CATTEDRA	Fila di sedie da 0,9 m a 1,2 m; legno/materia plastica	0,03*	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,14*

* Questi valori non sono presenti nella norma e sono stati stimati per completare la caratterizzazione richiesta da Odeon



Alle tre sopracitate superfici è stato inoltre assegnato un valore di scattering pari a:

- 0,50 per i banchi: superficie superiore
- 0,30 per i banchi: lato
- 0,30 per la cattedra.

9

REALIZZAZIONE DEL MODELLO TRIDIMENSIONALE PER LA SIMULAZIONE ACUSTICA dello stato di progetto senza trattamento acustico, con

inserimento dei banchi e della cattedra come da disposizione individuata per il nuovo spazio didattico. Per la caratterizzazione delle superfici sono stati utilizzati i coefficienti di assorbimento e di scattering come da punto precedente. L'obiettivo di questo modello è verificare quanto gli spazi attuali siano o meno adatti ad uso didattico qualora non vengano effettuati trattamenti di correzione acustica.

10

CONFIGURAZIONE DEI PARAMETRI di calcolo nei modelli di simulazione dello **stato di progetto con e senza trattamento acustico**.

Entrambi i modelli sono stati impostati nel *preset engineering* di ODEON, del quale, però, è stato aumentato il numero di *late rays* (valore che influisce sulla densità delle riflessioni nell'ultima parte del decadimento). Inoltre, per la valutazione dello STI, è stato inserito un valore per il rumore di fondo: non avendo a disposizione misurazioni reali negli ambienti analizzati, sono state utilizzate le **curve NC** come da tabella seguente.

NUMERO CLASSI	PROGETTO CON TRATTAMENTO ACUSTICO	PROGETTO SENZA TRATTAMENTO ACUSTICO
1 CLASSE	NC 30 – 39,7 dB(A)	NC 30 – 39,7 dB(A)
COMPRESENZA 2 CLASSI	NC 35 – 44,2 dB(A)	NC 45 – 53,4 dB(A)
COMPRESENZA 3 CLASSI	NC 40 – 49,0 dB(A)	NC 50 – 58,1 dB(A)
COMPRESENZA 4 CLASSI	NC 40 – 49,0 dB(A)	NC 50 – 58,1 dB(A)

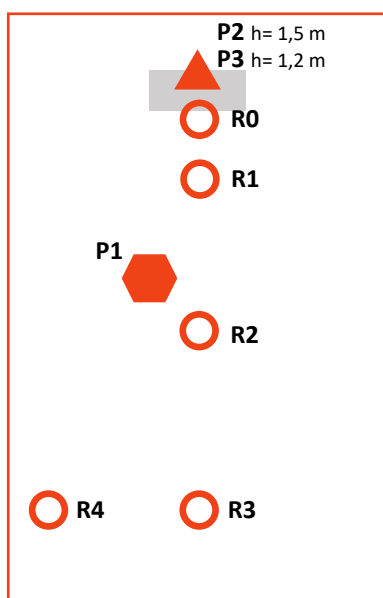
Agendo con un trattamento acustico minimo, non sempre distribuito uniformemente, la sua influenza sul rumore di fondo è stata considerata nulla, per cui, nel caso di uno spazio con una sola aula didattica, è stata mantenuta la stessa curva NC sia nella simulazione con trattamento acustico sia in quella senza trattamento.

Nel caso, invece, della compresenza di più classi, si è aumentato di volta in volta di circa 5 dB(A) il valore del rumore di fondo nella condizione di progetto con trattamento acustico rispetto al valore usato nel caso di unica classe; mentre nell'opzione di progetto di classi in compresenza senza trattamento acustico è stato utilizzato un valore di circa 9 dB(A) superiore a quello del progetto dell'ambiente trattato.

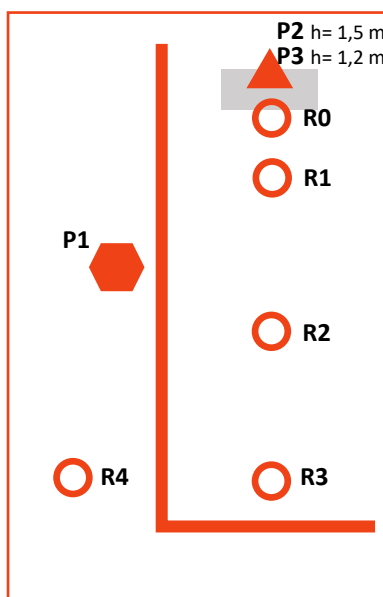
11

INSERIMENTO DELLE SORGENTI E DEI RICEVITORI nei modelli di simulazione con e senza trattamento acustico. Oltre alla sorgente omnidirezionale P1,

schema di esempio della posizione di sorgenti e ricevitori in ambiente utilizzato da una singola classe



schema di esempio della posizione di sorgenti e ricevitori in ambienti con classi in compresenza/atri



sono state inserite **due sorgenti sonore parlature** (sorgenti *TlkNorm*, che simulano un parlato normale, direttivo), posizionate come:

- insegnante in piedi alla cattedra (P2), ad un'altezza di 1,5 m da terra;
- insegnante seduta alla cattedra (P3), ad un'altezza di 1,2 m da terra.

Per quanto riguarda i ricevitori, essi, sia nel caso di **griglia di ricezione** che di **ricevitori singoli**, sono stati posizionati rispettivamente a 1,1 m da quota pavimento nel caso di scuola primaria e a 1,2 m nel caso di scuola secondaria di I e II grado.

Sono stati inseriti 4 ricevitori singoli:

- R1 nella posizione più prossima, in asse alla sorgente;
- R2 in centro all'aula, in asse alla sorgente;
- R3 in fondo all'aula, in asse alla sorgente;
- R4 in fondo all'aula, lontano dalla sorgente.

Nota bene: nel caso di spazi con compresenza di più classi, oppure di spazi aperti e di transito, quali gli atri, il quarto ricevitore (R4), è stato posizionato fuori dall'aula didattica analizzata: nell'aula confinante in compresenza oppure nello spazio di passaggio.

Infine, è stato inserito un quinto ricevitore (R0) ad un metro dalla sorgente parlature (insegnante), alla stessa altezza da pavimento (1,5 m), per la verifica del livello di pressione sonora del parlature a 1 m.

12

CONFRONTO TRA I MODELLI DI SIMULAZIONE DELLO STATO DI PROGETTO CON E SENZA TRATTAMENTO ACUSTICO per la **valutazione**

globale dell'ambiente. Attraverso il *global estimate*, una funzione di calcolo del software ODEON, è stato calcolato il **tempo di riverberazione generale dello spazio analizzato**, confrontandolo quindi con quello misurato, con quello ottimale e con il valore di collaudo. Per quest'ultimo, l'ambiente deve essere arredato ma non occupato e il suo valore obiettivo è stato ottenuto convertendo i valori in frequenza del

tempo di riverberazione ottimale (ad ambiente arredato e occupato), secondo una formula di calcolo fornita dalla norma UNI 11532-2, che considera l'area fonoassorbente delle persone (numero degli alunni moltiplicato per il loro coefficiente di assorbimento, fornito dalla norma rispettivamente per gli alunni della scuola primaria e di quella secondaria). Inoltre, con la funzione *Job List* del software ODEON, attivando la sorgente P3 (insegnante seduta) è stata calcolata **la griglia di ricezione per tutto il pavimento dell'ambiente** per le due configurazioni di progetto, con e senza trattamento acustico. La griglia è stata posizionata a 110 cm da pavimento nel caso di scuola primaria e a 120 cm da pavimento nel caso di scuola secondaria di I o di II grado. Dal software di simulazione sono quindi state ricavate **le immagini tridimensionali assonometriche con le mappe dello STI, per le due configurazioni, che sono state messe a confronto**. Nelle due simulazioni le differenze risiedono pertanto nel valore della curva NC per il rumore di fondo e nella presenza o assenza dei trattamenti di correzione acustica.

13

Come valutazione finale sono state **CALCOLATE LE RISPOSTE PUNTUALI** nei quattro punti di ricezione inseriti, sia utilizzando la sorgente parlatore P2 (insegnante in piedi), sia la sorgente parlatore P3 (insegnante seduta). Attivando la funzione *Multi Point Responses* nella *Job List* del software ODEON, si sono così ottenuti i valori di **STI** e **SPL(A)**. Sono poi stati ricavati anche i valori in bande di ottava del **T₃₀**, i cui valori compresi tra i 250 Hz e i 2000 Hz sono stati successivamente mediati per essere poi confrontati nelle quattro configurazioni. Tramite questa analisi non **si osservano** più i valori generali dell'ambiente, ma i **valori dei parametri acustici nei singoli punti di ricezione**, ovvero nella posizione occupata dagli studenti.

14

Valutazione di **TRATTAMENTO ACUSTICO OTTIMALE** per due ambienti esempio (un atrio e una palestra), tra quelli che, pur ottenendo un netto miglioramento del tempo di riverberazione, non raggiungono l'intervallo di conformità. Questi trattamenti possono servire come esempio di affinamento per tutti gli ambienti che con il trattamento base sono ancora in parte lontani dai valori ottimali.

2

TABELLE RISULTATI BETA TEST

NOTE

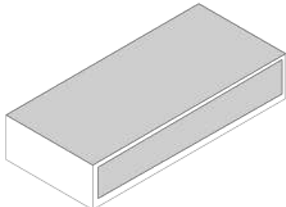
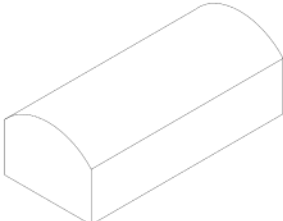
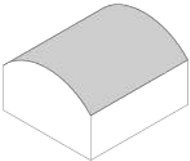
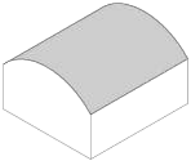
Nelle schede seguenti sono riportati i valori dei parametri acustici (stato di fatto, obiettivo e progetto) per i singoli ambienti, valevoli per gli ambienti nella loro totalità.

I valori del progetto si riferiscono all'ambiente trattato:

- il tempo di riverberazione è la media tra 250 Hz e 2000 Hz dei valori in bande di ottava ottenuti tramite la funzione *global estimate* del software ODEON;
- il valore di STI indicato è la media dei valori ottenuti tramite la funzione *job* del software ODEON per i punti di ricezione inseriti, ovvero 4 ricevitori negli ambienti con una singola aula e 3 ricevitori per gli ambienti con due o più aule didattiche temporanee (in questi ambienti il quarto ricevitore è al di fuori dello spazio didattico ed è stato utilizzato per una valutazione preliminare dell'interferenza con lo spazio limitrofo);
- i valori di STI sono stati ottenuti utilizzando per tutti gli ambienti, anche per quelli con volume $\geq 250 \text{ m}^3$, la sorgente direttiva *tlknorm* di ODEON, che riproduce il parlato normale di un oratore. Per maggiori dettagli si rimanda alla NOTA n.10 a pagina 51 del presente documento.

RISULTATI: BETA TEST 01 | SCUOLA PRIMARIA

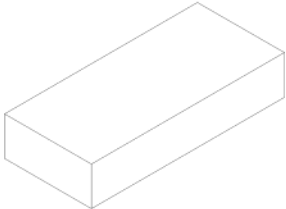
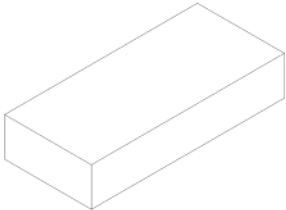
NOTA BENE: la condizione di progetto è quella ad ambiente trattato acusticamente.

Beta Test 01 IC NICCOLÒ TOMMASEO						
FUNZIONE	FORMA & DIMENSIONI	N. CLASSI IN COMPRESENZA	PARAMETRO	ATTUALE MISURATO aula vuota	OBIETTIVO UNI 11532-2 aula occupata	PROGETTO aula occupata
AUDITORIUM 	 $A_{pav} = 83\text{ m}^2 \mid V = 324\text{ m}^3$	n.1 CLASSE 28 alunni	$T_m(250-500-1000-2000\text{ Hz})$	1,3 s	0,6 s	0,8 s
			$STI_{insegnante\text{ in piedi}}$	-	$\geq 0,50$	0,60
			$STI_{insegnante\text{ seduta}}$	-	$\geq 0,50$	0,57
PALESTRA 	 $A_{pav} = 84\text{ m}^2 \mid V = 435\text{ m}^3$	n.1 CLASSE 28 alunni	$T_m(250-500-1000-2000\text{ Hz})$	3,3 s	0,7 s	1,1 s
			$STI_{insegnante\text{ in piedi}}$	-	$\geq 0,50$	0,57
			$STI_{insegnante\text{ seduta}}$	-	$\geq 0,50$	0,58
REFETTORIO 1 	 $A_{pav} = 40\text{ m}^2 \mid V = 197\text{ m}^3$	n.1 CLASSE 20 alunni	$T_m(250-500-1000-2000\text{ Hz})$	1,2 s	0,6 s	0,8 s
			$STI_{insegnante\text{ in piedi}}$	-	$\geq 0,55$	0,62
			$STI_{insegnante\text{ seduta}}$	-	$\geq 0,55$	0,62
REFETTORIO 2 	 $A_{pav} = 42\text{ m}^2 \mid V = 204\text{ m}^3$	n.1 CLASSE 20 alunni	$T_m(250-500-1000-2000\text{ Hz})$	1,1 s	0,6 s	0,8 s
			$STI_{insegnante\text{ in piedi}}$	-	$\geq 0,55$	0,61
			$STI_{insegnante\text{ seduta}}$	-	$\geq 0,55$	0,62
REFETTORIO 3 	 $A = 39\text{ m}^2 \mid V = 194\text{ m}^3$	n.1 CLASSE 16 alunni	$T_m(250-500-1000-2000\text{ Hz})$	1,2 s	0,6 s	0,8 s
			$STI_{insegnante\text{ in piedi}}$	-	$\geq 0,55$	0,62
			$STI_{insegnante\text{ seduta}}$	-	$\geq 0,55$	0,63

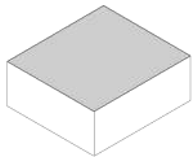
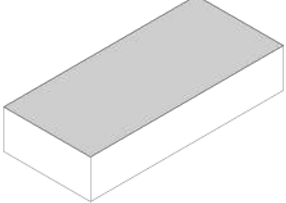
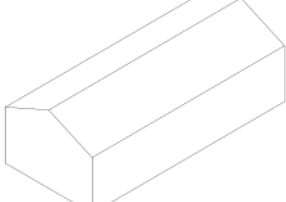
RISULTATI: BETA TEST 02 | SCUOLA SECONDARIA I GRADO – BETA TEST 03 | SCUOLA PRIMARIA

NOTA BENE: la condizione di progetto è quella ad ambiente trattato acusticamente.

Beta Test 02 | IC MATTEOTTI-PELLICO

FUNZIONE	FORMA & DIMENSIONI	N. CLASSI IN COMPRESENZA	PARAMETRO	ATTUALE MISURATO aula vuota	OBIETTIVO UNI 11532-2 aula occupata	PROGETTO aula occupata
ATRIO 1 	 $A_{pav} = 157 \text{ m}^2 \mid V = 502 \text{ m}^3$	n.1 CLASSE 18 alunni	T_m (250-500-1000-2000Hz)	2,5 s	0,7 s	1,1 s
			STI (insegnante in piedi)	-	$\geq 0,50$	0,62
			STI (insegnante seduta)	-	$\geq 0,50$	0,62
ATRIO 2 	 $A_{pav} = 156 \text{ m}^2 \mid V = 499 \text{ m}^3$	n.1 CLASSE 16 alunni	T_m (250-500-1000-2000Hz)	2,4 s	0,7 s	1,6 s (BASE) 0,8 s (OTTIMALE)
			STI (insegnante in piedi)	-	$\geq 0,50$	0,62 (BASE) 0,67 (OTTIMALE)
			STI (insegnante seduta)	-	$\geq 0,50$	0,61 (BASE) 0,67 (OTTIMALE)

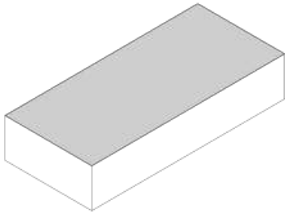
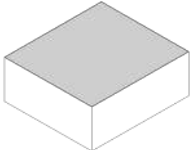
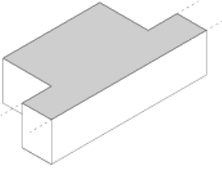
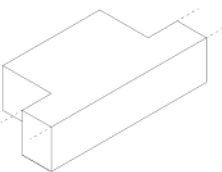
Beta Test 03 | IC PEYRON – RE UMBERTO I – VIA NIZZA

FUNZIONE	FORMA & DIMENSIONI	N. CLASSI IN COMPRESENZA	PARAMETRO	ATTUALE MISURATO aula vuota	OBIETTIVO UNI 11532-2 aula occupata	PROGETTO aula occupata
REFETTORIO 1 	 $A_{pav} = 44 \text{ m}^2 \mid V = 135 \text{ m}^3$	n.1 CLASSE 16 alunni	T_m (250-500-1000-2000Hz)	1,5 s	0,5 s	0,7 s
			STI _{insegnante in piedi}	-	$\geq 0,55$	0,64
			STI _{insegnante seduta}	-	$\geq 0,55$	0,64
REFETTORIO 2 	 $A_{pav} = 158 \text{ m}^2 \mid V = 499 \text{ m}^3$	n.2 CLASSI 40 alunni (20+20)	T_m (250-500-1000-2000Hz)	1,7 s	0,7 s	0,8 s
			STI _{insegnante in piedi}	-	$\geq 0,50$	0,58
			STI _{insegnante seduta}	-	$\geq 0,50$	0,58
PALESTRA 	 $A_{pav} = 84 \text{ m}^2 \mid V = 1.208 \text{ m}^3$	N.2 CLASSI 40 alunni (20+20)	T_m (250-500-1000-2000Hz)	3,2 s	0,8 s	1,3 s
			STI _{insegnante in piedi}	-	$\geq 0,50$	0,57
			STI _{insegnante seduta}	-	$\geq 0,50$	0,57

RISULTATI: BETA TEST 04 | SCUOLA PRIMARIA - 1° parte

NOTA BENE: la condizione di progetto è quella ad ambiente trattato acusticamente.

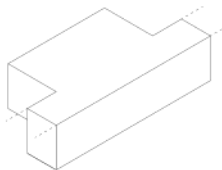
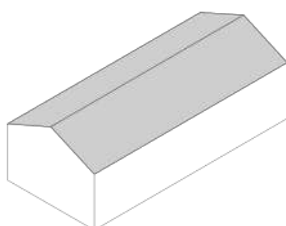
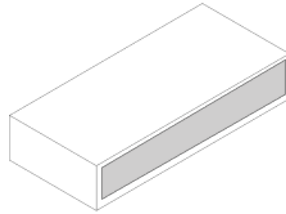
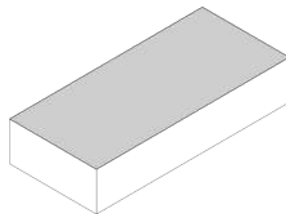
* Il volume dell'ambiente per la simulazione acustica è superiore a quello reale, relativo al solo spazio di effettivo utilizzo per uso didattico temporaneo, poiché per il calcolo è stata utilizzata anche una parte del corridoio. Per il valore obiettivo di STI, dipendente dal volume dell'ambiente ($STI \geq 0,55$ per $V < 250 \text{ m}^3$ e $STI \geq 0,50$ per $V \geq 250 \text{ m}^3$), si è utilizzato il valore 0,55, legato a $V < 250 \text{ m}^3$, considerando che l'intelligibilità del parlato deve essere garantita nello spazio ad uso didattico e non nell'area di passaggio.

Beta Test 04 IC PEYRON – RE UMBERTO I – VIA VENTIMIGLIA						
FUNZIONE	FORMA & DIMENSIONI	N. CLASSI IN COMPRESENZA	PARAMETRO	ATTUALE MISURATO aula vuota	OBIETTIVO UNI 11532-2 aula occupata	PROGETTO aula occupata
AULA INFORMATICA 	 $A_{pav} = 93 \text{ m}^2 \mid V = 257 \text{ m}^3$	n.2 CLASSI 32 alunni (16+16)	T_m (250-500-1000-2000Hz)	1,0 s	0,6 s	0,6 s
			$STI_{\text{insegnante in piedi}}$	-	$\geq 0,50$	0,62
			$STI_{\text{insegnante seduta}}$	-	$\geq 0,50$	0,62
SALA LETTURA 	 $A_{pav} = 70 \text{ m}^2 \mid V = 193 \text{ m}^3$	n.1 CLASSE 20 alunni	T_m (250-500-1000-2000Hz)	1,0 s	0,6 s	0,5 s
			$STI_{\text{insegnante in piedi}}$	-	$\geq 0,55$	0,65
			$STI_{\text{insegnante seduta}}$	-	$\geq 0,55$	0,66
ATRIO 1 	 $A_{pav} = 98 \text{ m}^2 \mid V = 269 \text{ m}^3 -$ $V_{\text{«aula»}} = 121 \text{ m}^3 (*)$	n.1 CLASSE 14 alunni	T_m (250-500-1000-2000Hz)	1,2 s	0,6 s	0,7 s
			$STI_{\text{insegnante in piedi}}$	-	$\geq 0,55 (*)$	0,67
			$STI_{\text{insegnante seduta}}$	-	$\geq 0,55 (*)$	0,66
ATRIO 2 	 $A_{pav} = 98 \text{ m}^2 \mid V = 293 \text{ m}^3 -$ $V_{\text{«aula»}} = 130 \text{ m}^3 (*)$	n.1 CLASSE 14 alunni	T_m (250-500-1000-2000Hz)	1,6 s	0,6 s	0,9 s
			$STI_{\text{insegnante in piedi}}$	-	$\geq 0,55 (*)$	0,65
			$STI_{\text{insegnante seduta}}$	-	$\geq 0,50 (*)$	0,63

RISULTATI: BETA TEST 04 | SCUOLA PRIMARIA - 2° parte

NOTA BENE: la condizione di progetto è quella ad ambiente trattato acusticamente.

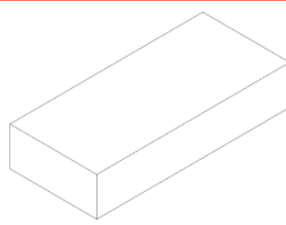
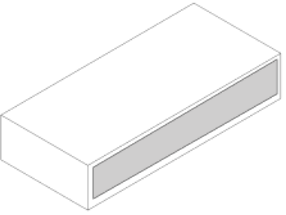
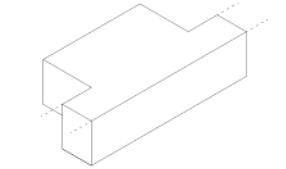
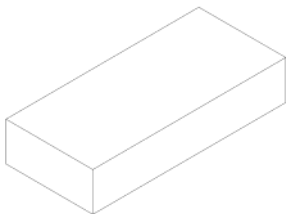
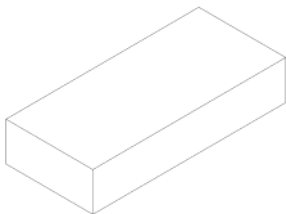
* Il volume dell'ambiente per la simulazione acustica è superiore a quello reale, relativo al solo spazio di effettivo utilizzo per uso didattico temporaneo, poiché per il calcolo è stata utilizzata anche una parte del corridoio. Per il valore obiettivo di STI, dipendente dal volume dell'ambiente ($STI \geq 0,55$ per $V < 250 \text{ m}^3$ e $STI \geq 0,50$ per $V \geq 250 \text{ m}^3$), si è utilizzato il valore 0,55, legato a $V < 250 \text{ m}^3$, considerando che l'intelligibilità del parlato deve essere garantita nello spazio ad uso didattico e non nell'area di passaggio.

Beta Test 04 IC PEYRON – RE UMBERTO I – VIA VENTIMIGLIA						
FUNZIONE	FORMA & DIMENSIONI	N. CLASSI IN COMPRESENZA	PARAMETRO	ATTUALE MISURATO aula vuota	OBIETTIVO UNI 11532-2 aula occupata	PROGETTO aula occupata
ATRIO 3 	 $A_{pav} = 75 \text{ m}^2$ $V = 225 \text{ m}^3$ – $V_{\text{«aula»}} = 98 \text{ m}^3$ (*)	n.1 CLASSE 14 alunni	T_m (250-500-1000-2000Hz)	1,6 s	0,6 s	0,8 s
			$STI_{\text{insegnante in piedi}}$	-	$\geq 0,55$	0,66
			$STI_{\text{insegnante seduta}}$	-	$\geq 0,55$	0,66
PALESTRA 	 $A_{pav} = 298 \text{ m}^2$ $V = 2.018 \text{ m}^3$	n.2 CLASSI 50 alunni (25+25)	T_m (250-500-1000-2000Hz)	3,2 s	0,9 s	1,4 s (BASE) 1,1 s (OTTIMALE)
			$STI_{\text{insegnante in piedi}}$	-	$\geq 0,50$	0,57 (BASE) 0,58 (OTTIMALE)
			$STI_{\text{insegnante seduta}}$	-	$\geq 0,50$	0,56 (BASE) 0,58 (OTTIMALE)
TEATRO 	 $A_{pav} = 297 \text{ m}^2$ $V = 990 \text{ m}^3$	n.3 CLASSI 72 alunni (24+24+24)	T_m (250-500-1000-2000Hz)	1,7 s	0,8 s	1,0 s
			$STI_{\text{insegnante in piedi}}$	-	$\geq 0,50$	0,46
			$STI_{\text{insegnante seduta}}$	-	$\geq 0,50$	0,46
REFETTORIO 	 $A_{pav} = 287 \text{ m}^2$ $V = 832 \text{ m}^3$	n.4 CLASSI 70 alunni (20+20+15+15)	T_m (250-500-1000-2000Hz)	1,8 s	0,8 s	0,8 s
			$STI_{\text{insegnante in piedi}}$	-	$\geq 0,50$	0,48
			$STI_{\text{insegnante seduta}}$	-	$\geq 0,50$	0,48

RISULTATI: BETA TEST 05 | SCUOLA SECONDARIA I GRADO

NOTA BENE: la condizione di progetto è quella ad ambiente trattato acusticamente.

* Il volume dell'ambiente per la simulazione acustica è superiore a quello reale, relativo al solo spazio di effettivo utilizzo per uso didattico temporaneo, poiché per il calcolo è stata utilizzata anche una parte del corridoio. Per il valore obiettivo di STI, dipendente dal volume dell'ambiente ($STI \geq 0,55$ per $V < 250 \text{ m}^3$ e $STI \geq 0,50$ per $V \geq 250 \text{ m}^3$), si è utilizzato il valore 0,55, legato a $V < 250 \text{ m}^3$, considerando che l'intelligibilità del parlato deve essere garantita nello spazio ad uso didattico e non nell'area di passaggio.

Beta Test 05 IC PEYRON – RE UMBERTO I – VIA VALENZA						
FUNZIONE	FORMA & DIMENSIONI	N. CLASSI IN COMPRESENZA	PARAMETRO	ATTUALE MISURATO aula vuota	OBIETTIVO UNI 11532-2 aula occupata	PROGETTO aula occupata
REFETTORIO	  $A_{\text{pav}} = 122 \text{ m}^2 \mid V = 371 \text{ m}^3$	n.2 CLASSI 36 alunni (20+16)	T_m (250-500-1000-2000Hz) $STI_{\text{insegnante in piedi}}$ $STI_{\text{insegnante seduta}}$	2,5 s - -	0,7 s $\geq 0,50$ $\geq 0,50$	0,9 s 0,61 0,61
AULA VIDEO	  $A_{\text{pav}} = 98 \text{ m}^2 \mid V = 298 \text{ m}^3$	n.2 CLASSI 32 alunni (16+16)	T_m (250-500-1000-2000Hz) $STI_{\text{insegnante in piedi}}$ $STI_{\text{insegnante seduta}}$	1,2 s - -	0,6 s $\geq 0,50$ $\geq 0,50$	0,6 s 0,64 0,63
ATORIO	  $A_{\text{pav}} = 125 \text{ m}^2 \mid V = 398 \text{ m}^3 -$ $V_{\text{«aula»}} = 142 \text{ m}^3 (*)$	n.1 CLASSE 15 alunni	T_m (250-500-1000-2000Hz) $STI_{\text{insegnante in piedi}}$ $STI_{\text{insegnante seduta}}$	1,8 s - -	0,7 s $\geq 0,55 (*)$ $\geq 0,55 (*)$	1,1 s 0,67 0,68
AULA DI SCIENZE	  $A_{\text{pav}} = 97 \text{ m}^2 \mid V = 311 \text{ m}^3$	n.1 CLASSE 18 alunni	T_m (250-500-1000-2000Hz) $STI_{\text{insegnante in piedi}}$ $STI_{\text{insegnante seduta}}$	1,3 s - -	0,6 s $\geq 0,50$ $\geq 0,50$	0,7 s 0,63 0,64
AULA MASTER	  $A_{\text{pav}} = 97 \text{ m}^2 \mid V = 310 \text{ m}^3$	n.1 CLASSE 28 alunni	T_m (250-500-1000-2000Hz) $STI_{\text{insegnante in piedi}}$ $STI_{\text{insegnante seduta}}$	1,9 s - -	0,6 s $\geq 0,50$ $\geq 0,50$	0,9 s 0,58 0,58

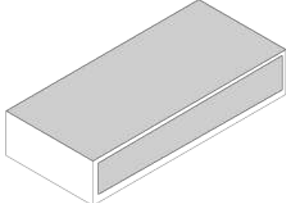
RISULTATI: BETA TEST 06 | SCUOLA SECONDARIA II GRADO – BETA TEST 07 | SCUOLA PRIMARIA, SECONDARIA I E II GRADO – BETA TEST 08 | SCUOLA SECONDARIA II GRADO

NOTA BENE: la condizione di progetto è quella ad ambiente trattato acusticamente.

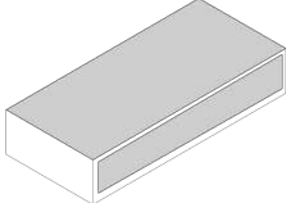
* Dei seguenti tre ambienti non è stato svolto il rilievo architettonico, di conseguenza le misure usate in pianta sono quelle ricavate dal disegno CAD disponibile, mentre le altezze sono state stimate dalle fotografie. Per il refettorio del Beta Test 07 e per la palestra del Beta Test 08, inoltre, non è stato svolto il rilievo acustico del tempo di riverberazione allo stato di fatto. L'analisi di questi ambienti è pertanto meno precisa rispetto a quella dei precedenti cinque Beta Test, ma rappresentativa nel fornire delle soluzioni anche nel caso si abbiano meno dati a disposizione.

** Il volume dell'ambiente per la simulazione acustica è superiore a quello reale, relativo al solo spazio di effettivo utilizzo per uso didattico temporaneo, poiché per il calcolo è stata utilizzata anche una parte del corridoio.

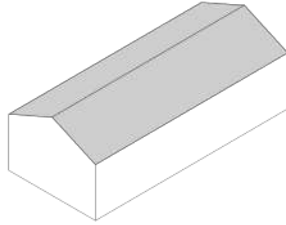
Beta Test 06 | CONVITTO NAZIONALE UMBERTO I – VIA BERTOLA

FUNZIONE	FORMA & DIMENSIONI (*)	N. CLASSI IN COMPRESENZA	PARAMETRO	ATTUALE MISURATO aula vuota	OBIETTIVO UNI 11532-2 aula occupata	PROGETTO aula occupata
REFETTORIO	  $A_{pav} = 194 \text{ m}^2 \mid V = 776 \text{ m}^3$	n.2 CLASSI 40 alunni (16+24)	T_m (250-500-1000-2000Hz)	0,7 s	0,8 s	0,5 s
			$STI_{\text{insegnante in piedi}}$	-	$\geq 0,50$	0,55
			$STI_{\text{insegnante seduta}}$	-	$\geq 0,50$	0,52

Beta Test 07 | CONVITTO NAZIONALE UMBERTO I – VIA BLIGNY

FUNZIONE	FORMA & DIMENSIONI (*)	N. CLASSI IN COMPRESENZA	PARAMETRO	ATTUALE MISURATO aula vuota	OBIETTIVO UNI 11532-2 aula occupata	PROGETTO aula occupata
REFETTORIO	  $A_{pav} = 450 \text{ m}^2 \mid V = 1.575 \text{ m}^3$ $- V_{\text{«aula»}} = 1.076 \text{ m}^3 (**)$	n.2 CLASSI 51 alunni (27+24)	T_m (250-500-1000-2000Hz)	-	0,9 s	0,8 s
			$STI_{\text{insegnante in piedi}}$	-	$\geq 0,50$	0,54
			$STI_{\text{insegnante seduta}}$	-	$\geq 0,50$	0,53

Beta Test 08 | LICEO ALFIERI

FUNZIONE	FORMA & DIMENSIONI (*)	N. CLASSI IN COMPRESENZA	PARAMETRO	ATTUALE MISURATO aula vuota	OBIETTIVO UNI 11532-2 aula occupata	PROGETTO aula occupata
PALESTRA	  $A_{pav} = 350 \text{ m}^2 \mid V = 2.800 \text{ m}^3$	n.2 CLASSI 60 alunni (30+30)	T_m (250-500-1000-2000Hz)	-	0,9 s	1,2 s
			$STI_{\text{insegnante in piedi}}$	-	$\geq 0,50$	0,51
			$STI_{\text{insegnante seduta}}$	-	$\geq 0,50$	0,49

3

SCUOLE BETA TEST

NOTE

1. Le piante in vista assonometrica evidenziano gli ambienti analizzati, mostrando la forma dell'edificio, e sono inserite fuori scala.
2. I volumi degli ambienti e i trattamenti acustici utilizzati sono indicati con simboli inseriti fuori scala.
3. La pianta inserita nella scheda generale di ogni singolo ambiente è utilizzata come *keyplan*, ovvero una mappa, inserita fuori scala, per individuare e contestualizzare l'ambiente nel piano dell'edificio di appartenenza.
4. La vista assonometrica dell'ambiente trattato ha la scala grafica specifica.
5. Nelle scuole Beta Test 07 e 08 non sono state effettuate le misure del tempo di riverberazione allo stato di fatto, che pertanto non è indicato.
6. Per le scuole Beta Test 06, 07 e 08 i dati relativi alle altezze e al volume sono indicativi, poiché non è stato effettuato il rilievo architettonico ad integrazione delle piante invece disponibili.
7. L'ambiente analizzato della scuola Beta Test 08 è stato un caso particolare, utilizzato come esempio maggiormente teorico: al contrario degli altri spazi è stato utilizzato un trattamento di grandi dimensioni (non si rispettano i 2,5 m di altezza massima suggeriti per i divisori).
8. Nella scheda acustica 1 i valori del tempo di riverberazione sono quelli in bande di ottava ottenuti con la funzione *global estimate* del software ODEON (si tratta dei valori dell'ambiente generale).
9. Nella scheda acustica 2 i valori dei parametri acustici sono i valori puntuali ai ricettori e sono stati ottenuti con la funzione *job* del software ODEON per i punti di ricezione inseriti (4

ricevitori negli ambienti con una singola aula e 3 ricevitori per gli ambienti con due o più aule didattiche temporanee).

10. I valori di STI sono stati ottenuti inserendo un rumore di fondo con le curve NC (indicate in ogni scheda acustica) e utilizzando la sorgente direttiva *tlknorm* di ODEON, che riproduce il parlato normale di un oratore e che ha permesso di ottenere circa 61 dB(A) in asse ad un metro dalla sorgente senza l'inserimento di guadagni. È da notare che la norma UNI 11532-2:2020, per gli ambienti con volume $\geq 250 \text{ m}^3$, chiede un valore di STI con sorgente con un segnale di emissione ad 1 m pari a 70 dB(A). In questo studio, invece, si è deciso di non modificare il livello dell'emissione sonora del parlatore. L'analisi svolta è stata cautelativa e ha avuto come obiettivo il garantire delle condizioni di comfort acustico minimo con un parlato normale, quindi senza considerare un livello di voce più elevato, in modo da verificare la condizione più sfavorevole: l'insegnante che a fine giornata non riesce più a sforzare la voce o colei che già di base non riesce a mantenere un livello di voce elevato costante. Ci sono pertanto dei grandi ambienti che anche dopo il trattamento acustico base, nonostante un incremento rispetto alla situazione di partenza, sono caratterizzati da livelli di STI che rientrano nel gruppo della comprensione «discreta», ma apparentemente non raggiungono il valore minimo richiesto dalla norma UNI pari a 0,5. Andando invece ad usare un parlato elevato (*tlkraise* di ODEON) e impostando un'emissione di 70 dB(A) a 1 m dalla sorgente, l'obiettivo viene ampiamente raggiunto.

11. Nella scheda acustica 1 si presenta la mappa

dello STI calcolato con la funzione *global estimate* del software ODEON e usando la sorgente P3 (insegnante seduta). Si tratta dei valori dell'ambiente generale.

12. Nella scheda acustica 2, che invece descrive l'analisi più puntuale, si presentano i valori di STI female (l'indice di intelligibilità adattato sullo spettro del parlato femminile), poiché il numero di insegnanti donne è ancora superiore a quello degli uomini e quindi il suo utilizzo si adatta maggiormente alla situazione attuale e va a completamento dello STI usato nella scheda precedente, che considera il parlato «generale» senza i termini di adattamento spettrale specifici per il parlato femminile e maschile. L'indice di intelligibilità è stato calcolato per le due posizioni di sorgente utilizzate e considerando i quattro punti di ricezione. Il valore per il paragone con quello ottimale secondo normativa UNI è stato la media dei 4 valori di *STI female* nel caso di ambiente con singola aula e dei 3 valori di *STI female* nel caso di ambienti con più di un'aula in compresenza.
13. Nella scheda acustica 2, sopra al grafico ad istogrammi dei valori ai ricettori dell'indice di intelligibilità e del tempo di riverberazione, sono stati riportati il loro valore obiettivo e il rispettivo intervallo di conformità. Nel grafico del tempo di riverberazione risulta talvolta una lieve differenza del valore obiettivo rispetto a quello indicato lateralmente: mentre quest'ultimo è stato riportato approssimato a singola cifra dopo la virgola, nel grafico è indicato il valore non approssimato.

DETTAGLI

via dei Mille 15, Torino
1874-1877 costruzione

DESCRIZIONE

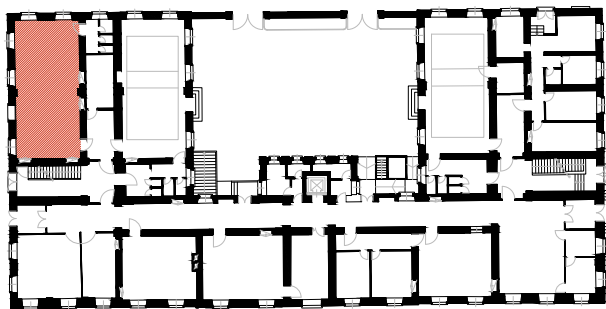
Edificio in muratura mista a tre piani fuori terra, subisce gravi danni bellici nel 1942 e nel 1943, a causa dei quali viene temporaneamente chiuso. Riaperto nel 1963-64, è oggetto di altri tre interventi di restauro nel 1976, 1985 e 2006-2007. È un edificio-modello prototipo per le scuole torinesi a partire da fine Ottocento.



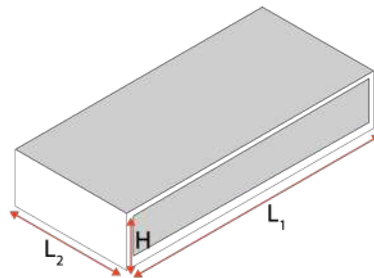
Auditorium	324 m ³
Palestra 1	435 m ³
Refettorio 1	197 m ³
Refettorio 2	204 m ³
Refettorio 3	194 m ³



Beta Test 01 | AUDITORIUM



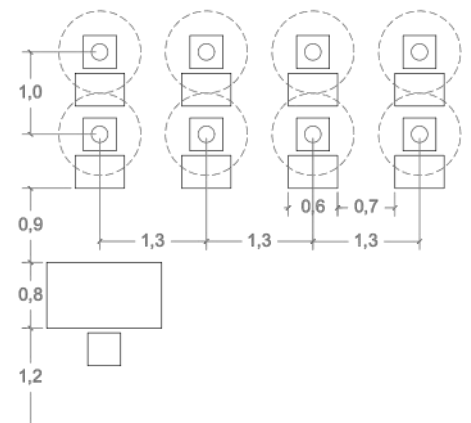
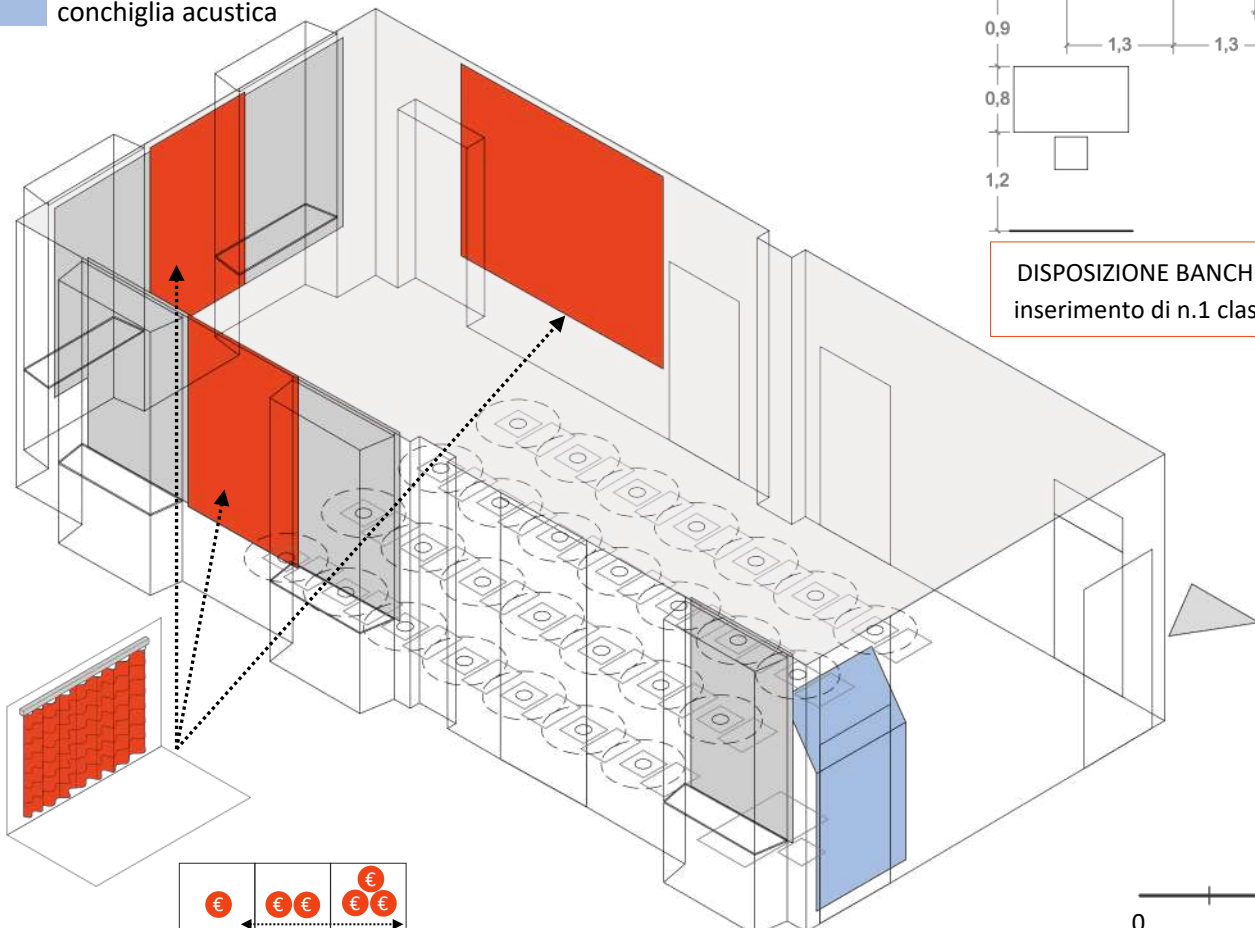
PIANO TERRA



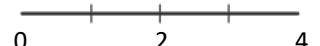
$L_1 = 13,6 \text{ m}$
 $L_2 = 6,3 \text{ m}$
 $H = 3,9 \text{ m}$
 $A_{\text{pav}} = 83 \text{ m}^2$
 $V = 324 \text{ m}^3$



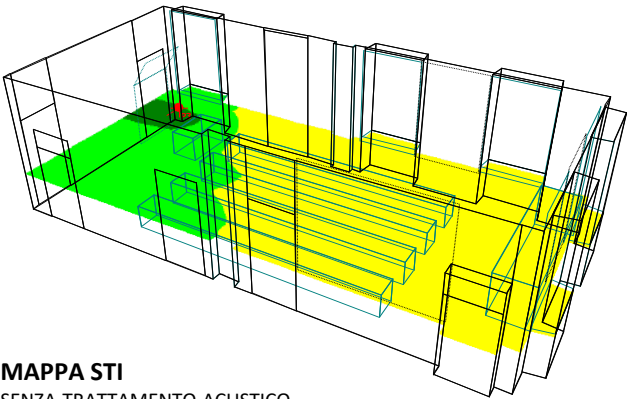
- tende già presenti
- soffitto mediamente fonoassorbente (già presente)
- trattamento fonoassorbente (14% circa della somma delle aree delle pareti laterali e della parete di fondo – 18,8 m²)
- conchiglia acustica



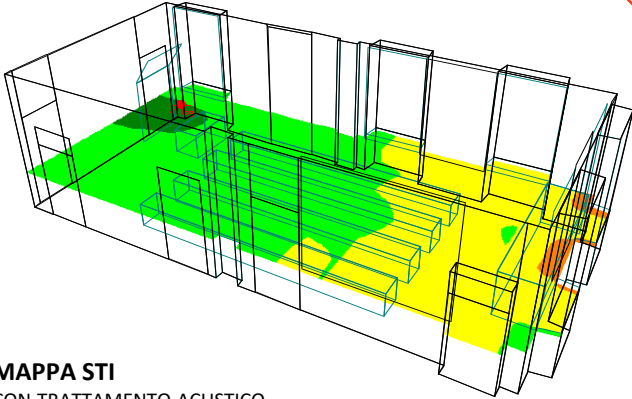
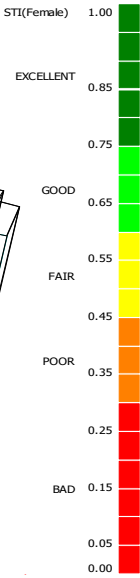
DISPOSIZIONE BANCHI E CATTEDRA
inserimento di n.1 classe (28 alunni)



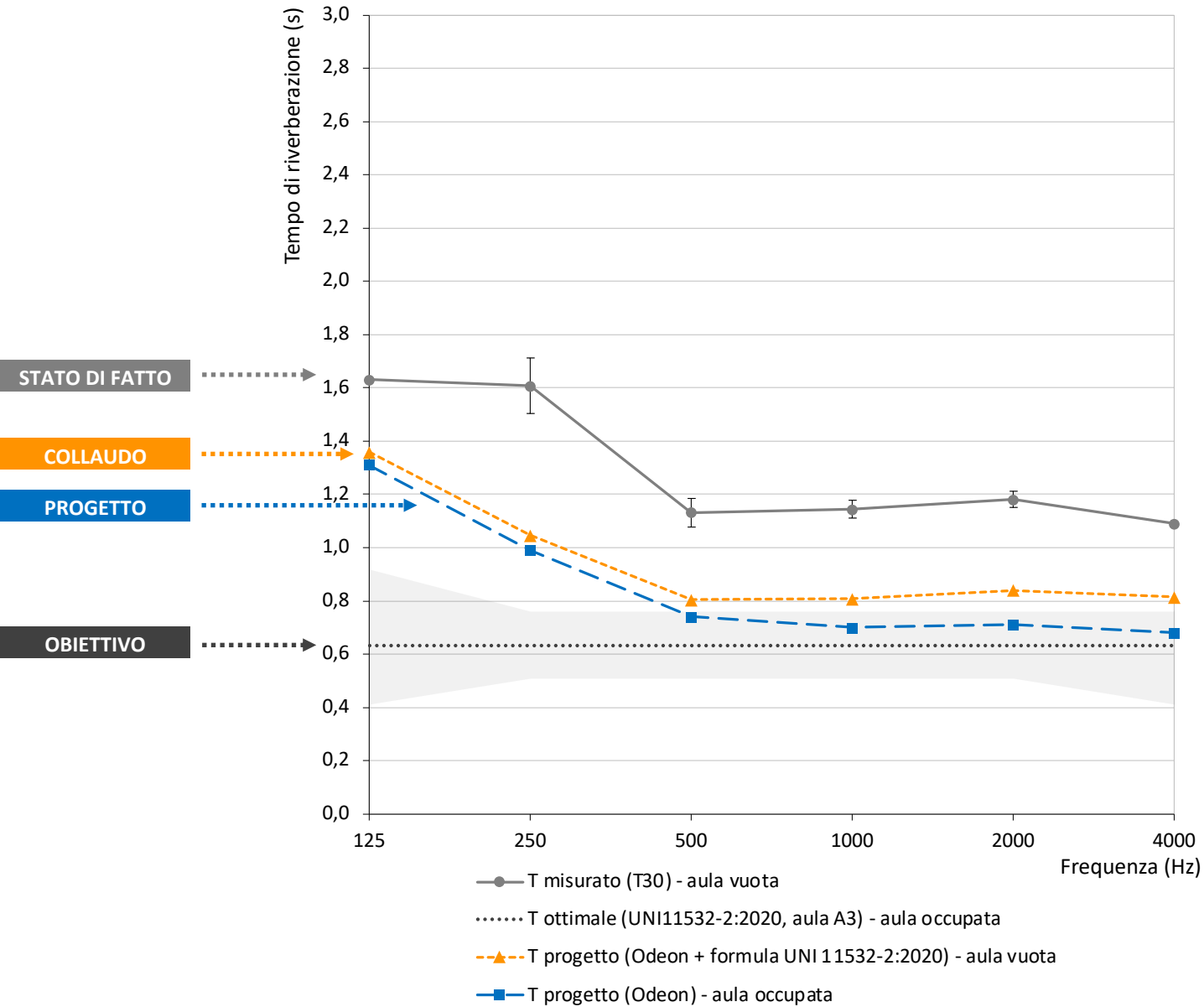
1. ANALISI GENERALE



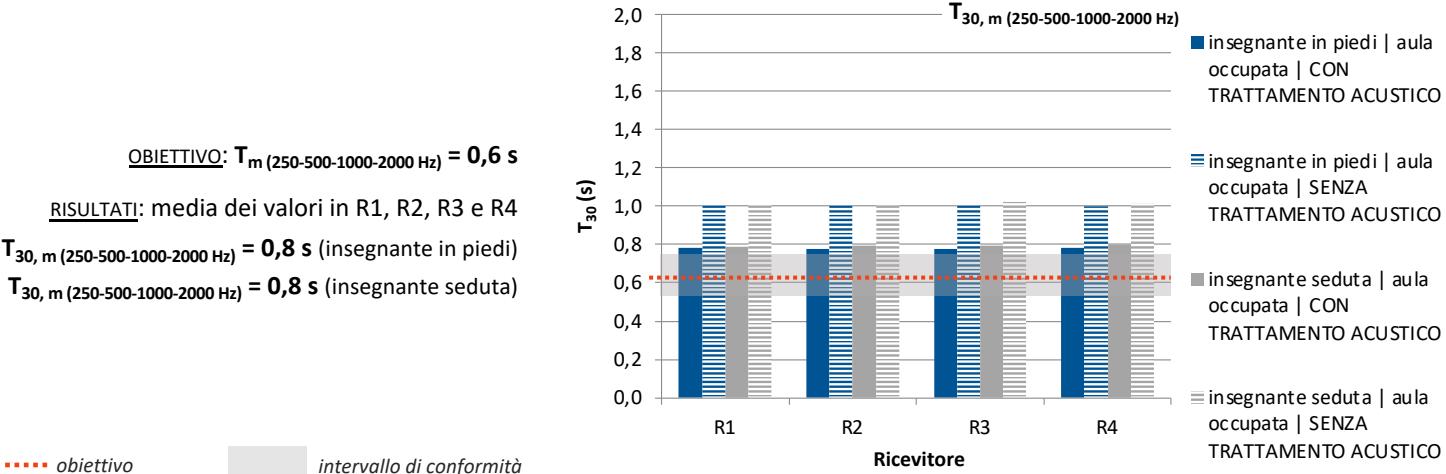
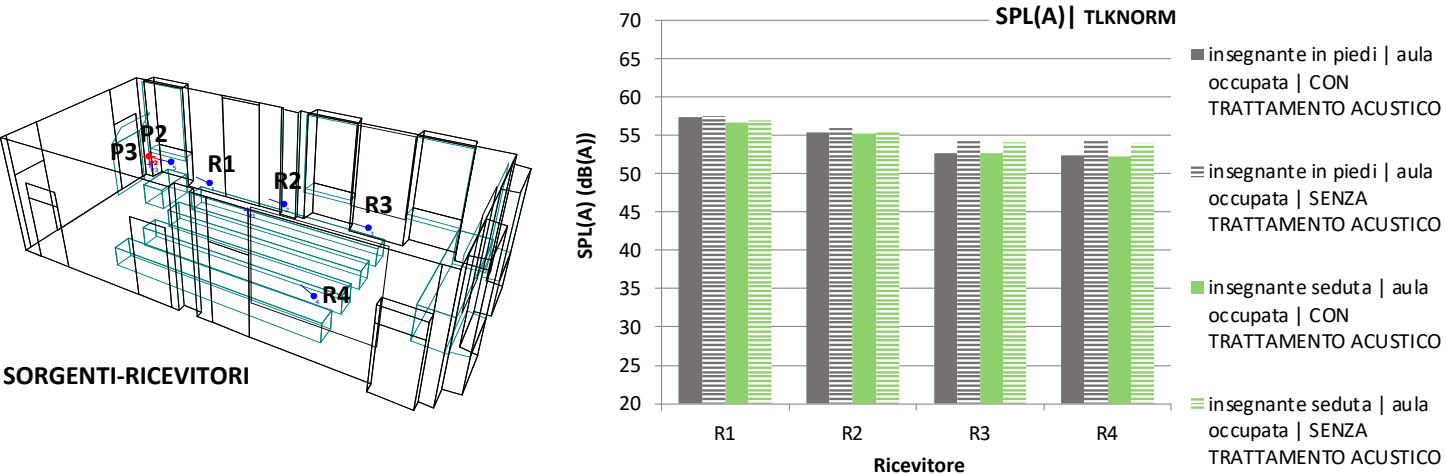
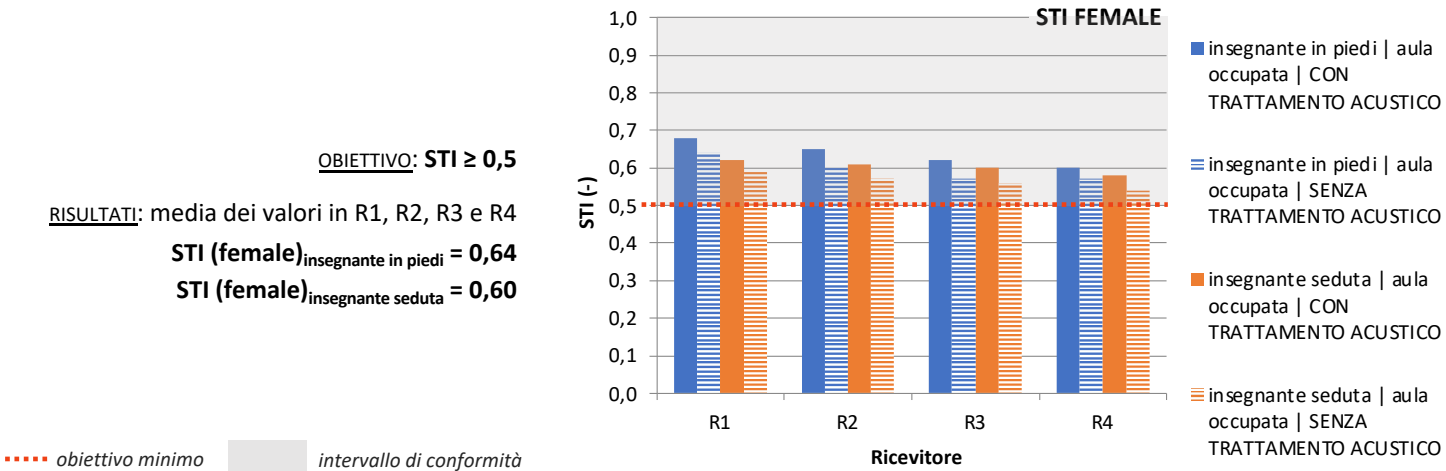
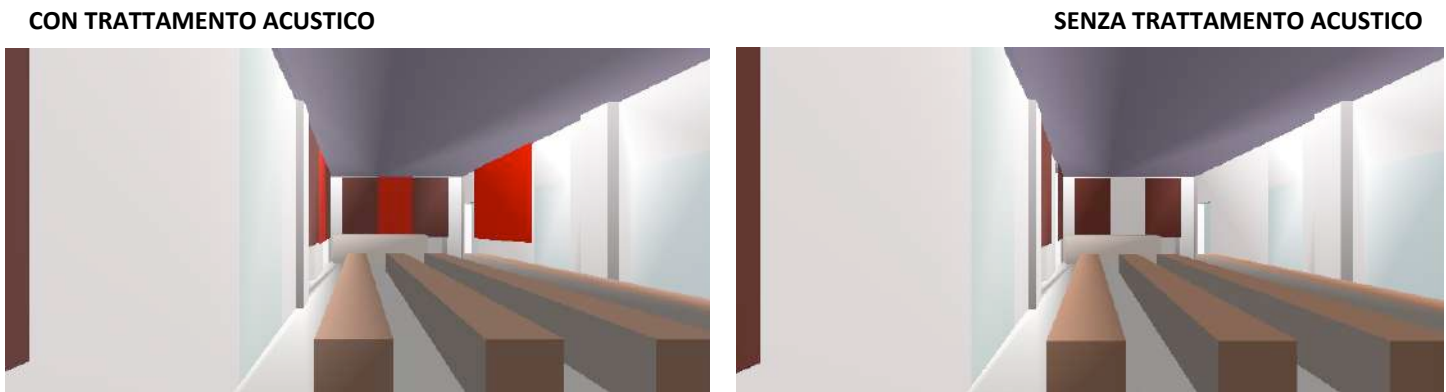
MAPPA STI
SENZA TRATTAMENTO ACUSTICO
_ sorgente P3 (insegnante seduta)
_ rumore di fondo NC30



MAPPA STI
CON TRATTAMENTO ACUSTICO
_ sorgente P3 (insegnante seduta)
_ rumore di fondo NC30



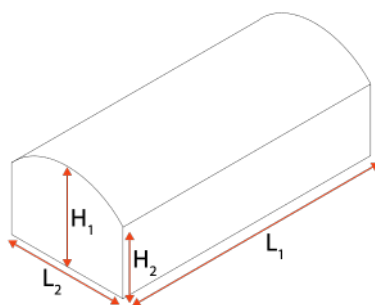
	Tempo di riverberazione, T (s)						T _m (250-500-1000-2000 Hz)
	125	250	500	1000	2000	4000	
T misurato (T ₃₀) - aula vuota	1,63	1,61	1,13	1,14	1,18	1,09	1,3
T ottimale (UNI11532-2:2020, aula A3) - aula occupata	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,6
T progetto (Odeon + formula UNI 11532-2:2020) - aula vuota	1,36	1,05	0,80	0,81	0,84	0,81	0,9
T progetto (Odeon) - aula occupata	1,31	0,99	0,74	0,70	0,71	0,68	0,8



Beta Test 01 | PALESTRA



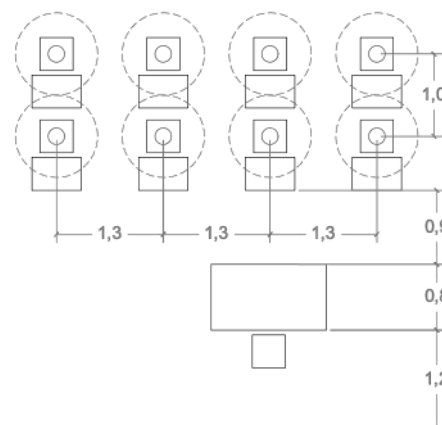
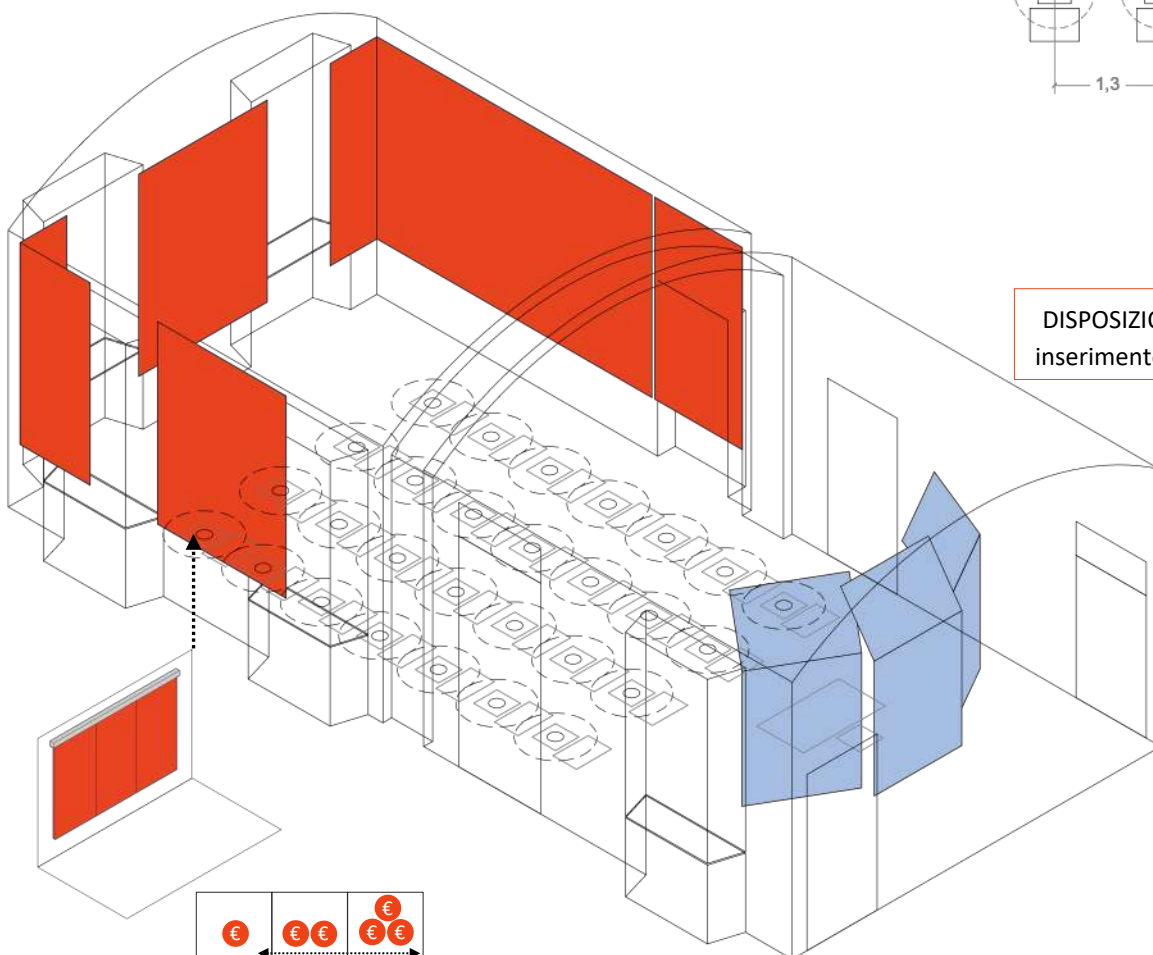
PIANO TERRA



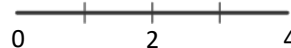
$L_1 = 13,4 \text{ m}$
 $L_2 = 6,3 \text{ m}$
 $H_1 = 5,1 \text{ m}$
 $H_2 = 4,1 \text{ m}$
 $A_{\text{pav}} = 84 \text{ m}^2$
 $V = 435 \text{ m}^3$



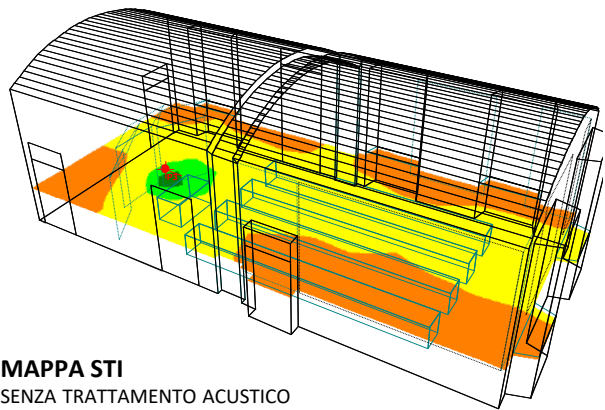
- trattamento fonoassorbente (30% circa della somma delle aree delle pareti laterali e della parete di fondo – 40,2 m²)
- conchiglia acustica



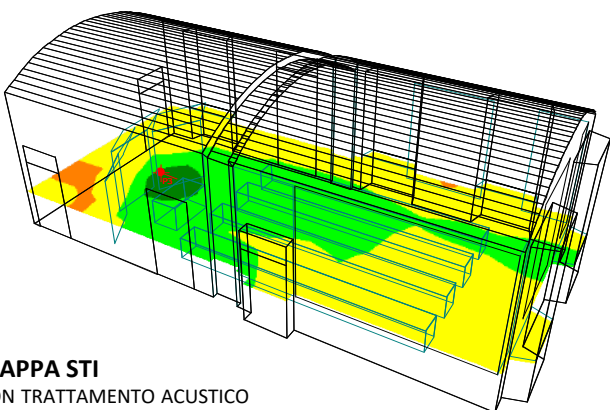
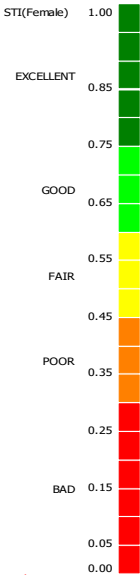
DISPOSIZIONE BANCHI E CATTEDRA
inserimento di n.1 classe (28 alunni)



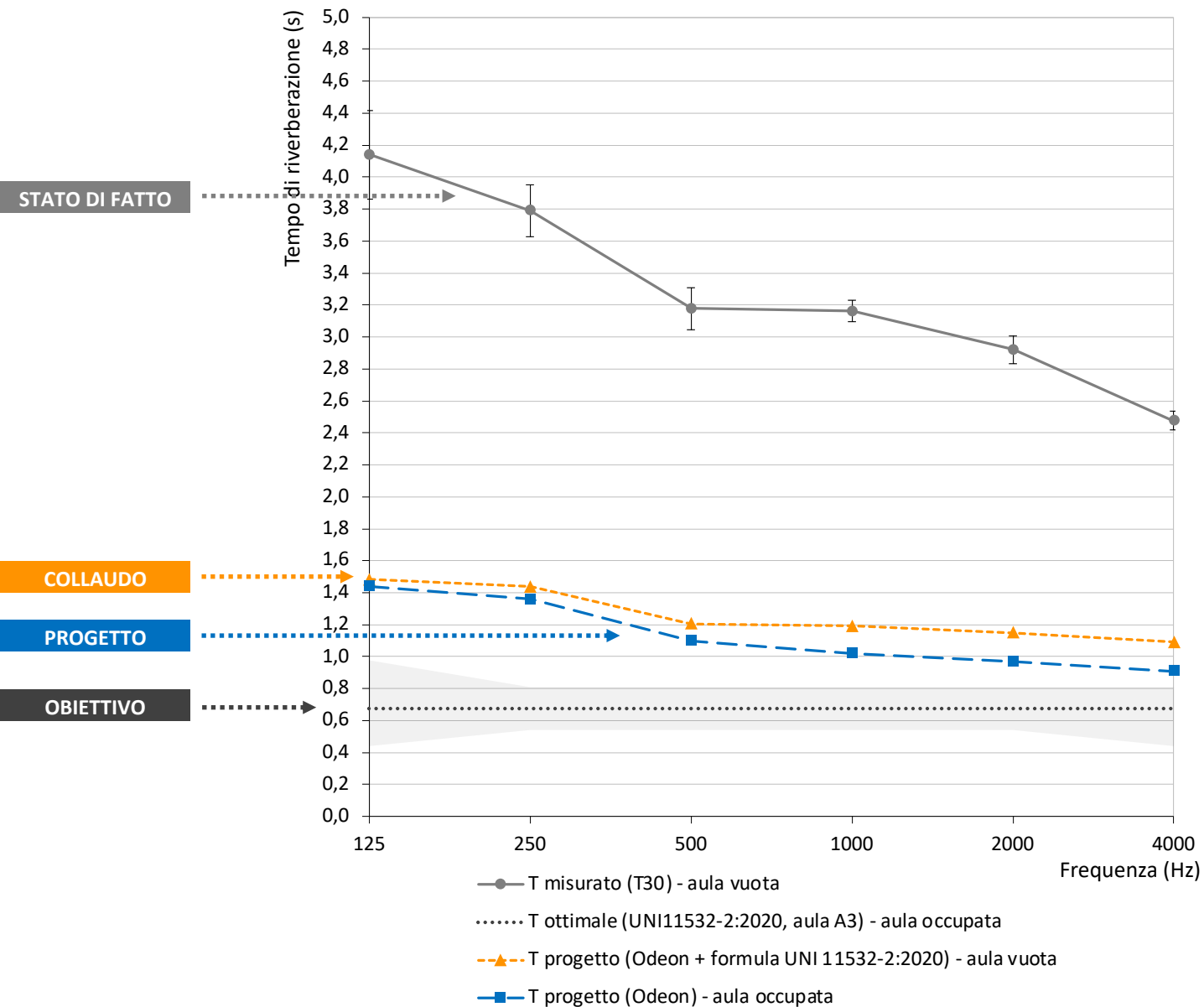
1. ANALISI GENERALE



MAPPA STI
SENZA TRATTAMENTO ACUSTICO
_ sorgente P3 (insegnante seduta)
_ rumore di fondo NC30



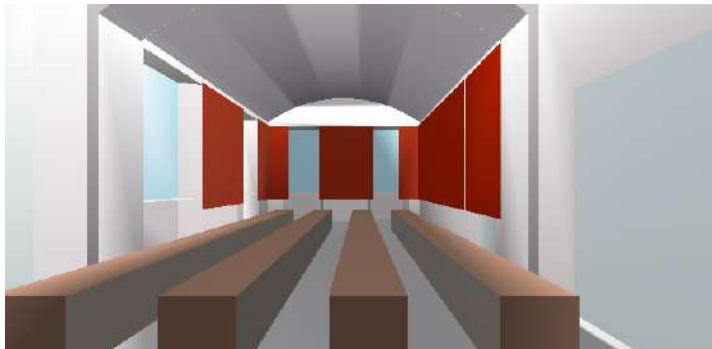
MAPPA STI
CON TRATTAMENTO ACUSTICO
_ sorgente P3 (insegnante seduta)
_ rumore di fondo NC30



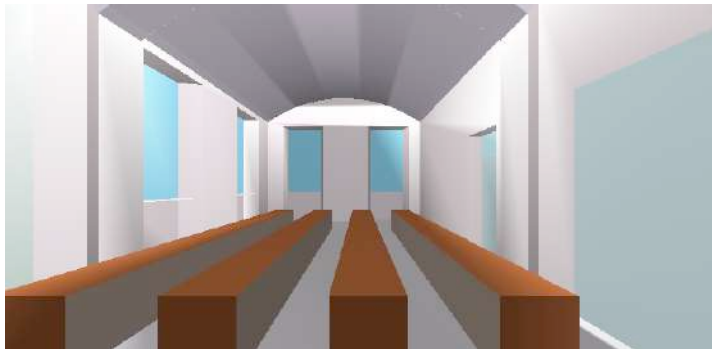
	Tempo di riverberazione, T (s)						T _m (250-500-1000-2000 Hz)
	125	250	500	1000	2000	4000	
T misurato (T ₃₀) - aula vuota	4,14	3,79	3,18	3,16	2,92	2,48	3,3
T ottimale (UNI11532-2:2020, aula A3) - aula occupata	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,7
T progetto (Odeon + formula UNI 11532-2:2020) - aula vuota	1,48	1,44	1,21	1,19	1,15	1,09	1,2
T progetto (Odeon) - aula occupata	1,44	1,36	1,10	1,02	0,97	0,91	1,1



CON TRATTAMENTO ACUSTICO



SENZA TRATTAMENTO ACUSTICO

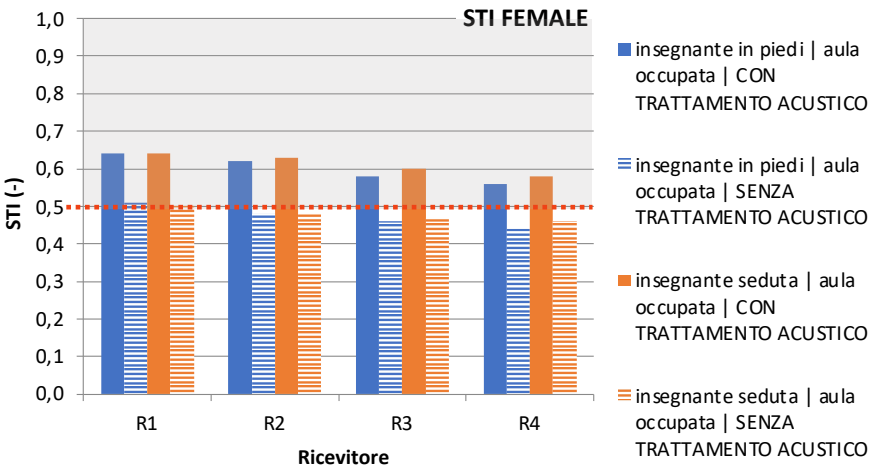


OBIETTIVO: $STI \geq 0,5$

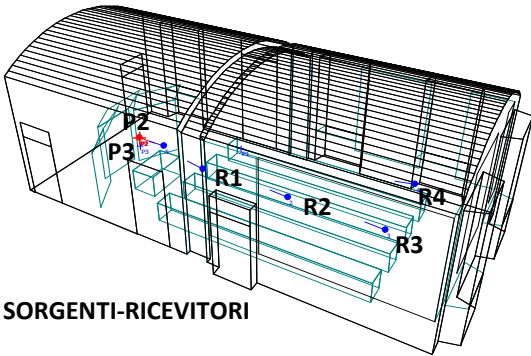
RISULTATI: media dei valori in R1, R2, R3 e R4

$STI (female)_{insegnante \text{ in piedi}} = 0,60$

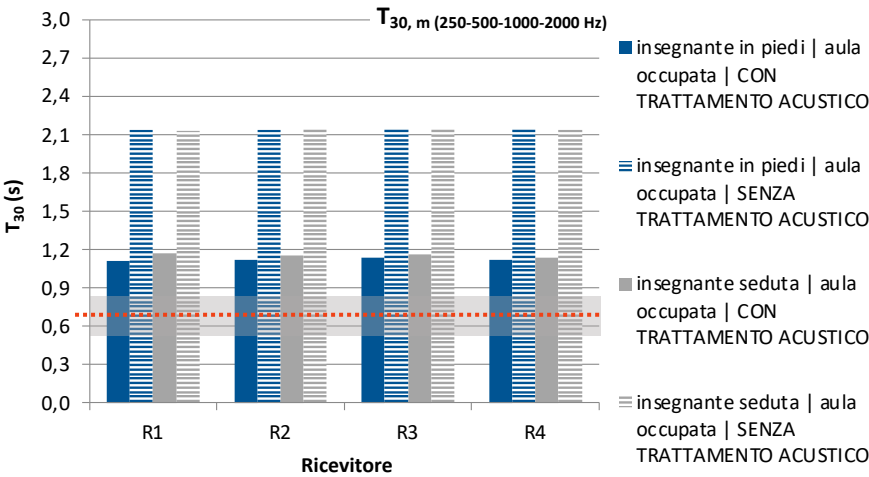
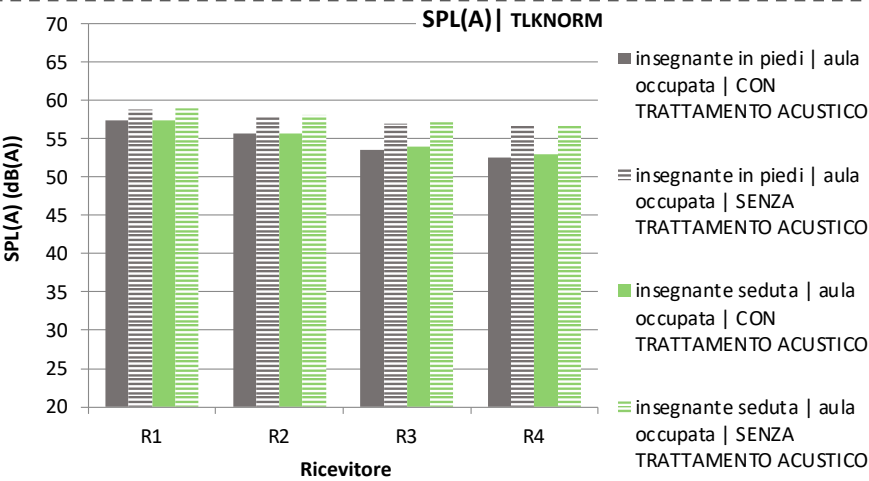
$STI (female)_{insegnante \text{ seduta}} = 0,61$



..... obiettivo minimo intervallo di conformità

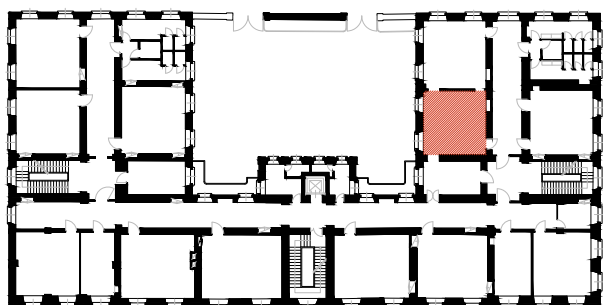


SORGENTI-RICEVITORI

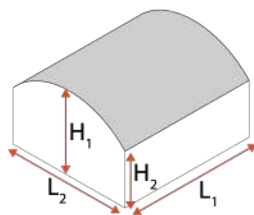


..... obiettivo intervallo di conformità

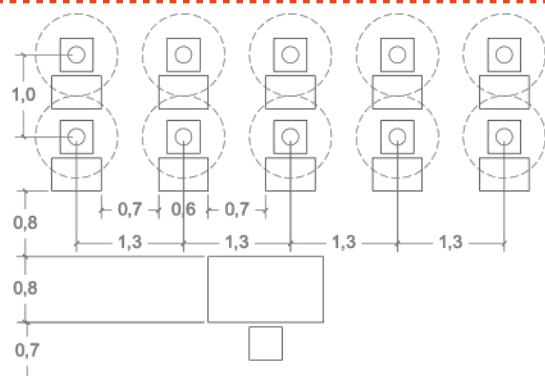
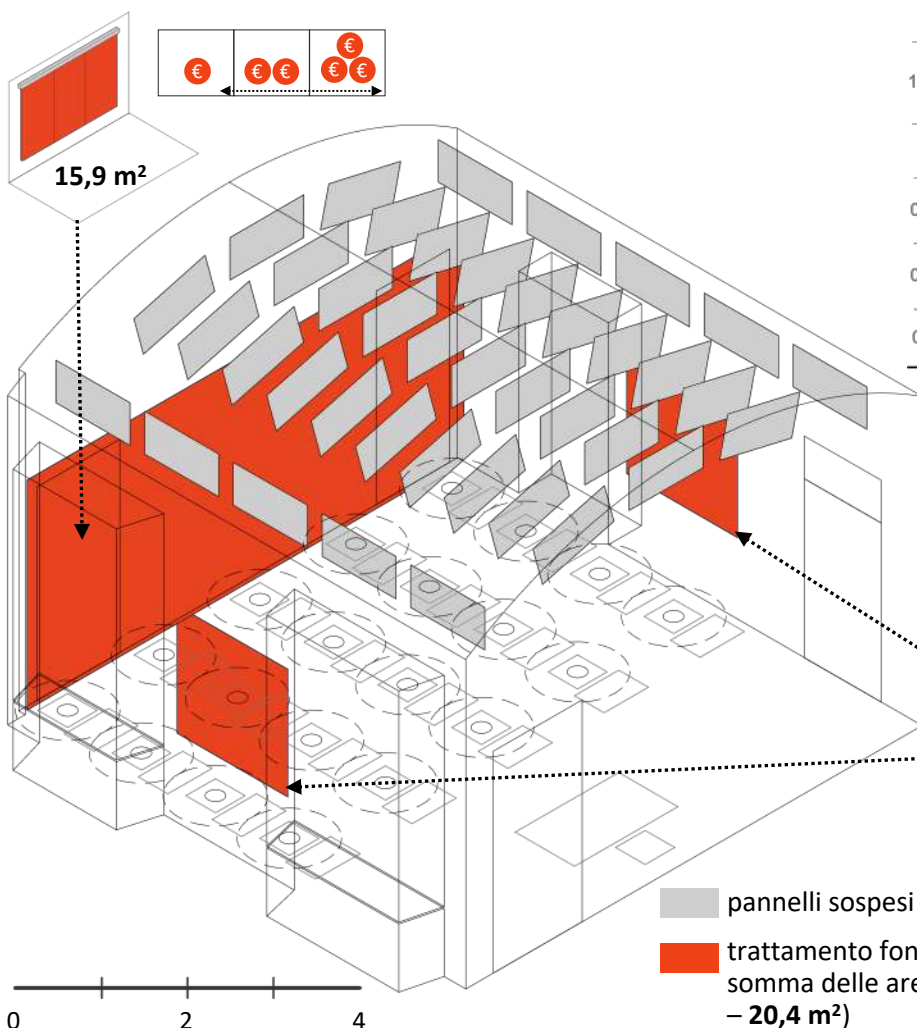
Beta Test 01 | REFETTORIO 1



PIANO PRIMO



$$\begin{aligned} L_1 &= 6,3 \text{ m} \quad L_2 = 6,2 \text{ m} \\ H_1 &= 4,8 \text{ m} \quad H_2 = 3,9 \text{ m} \\ A_{\text{pav}} &= 40 \text{ m}^2 \\ V &= 197 \text{ m}^3 \end{aligned}$$



DISPOSIZIONE BANCHI E CATTEDRA
inserimento di n.1 classe (20 alunni)

4,5 m²

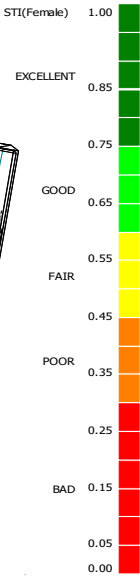
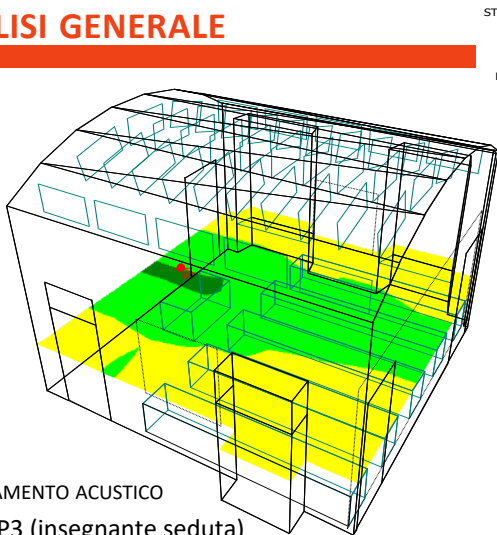
- pannelli sospesi mediamente fonoassorbenti (già presenti)
- trattamento fonoassorbente e fonoisolante (**28%** circa della somma delle aree delle pareti laterali e della parete di fondo – **20,4 m²**)

0 2 4

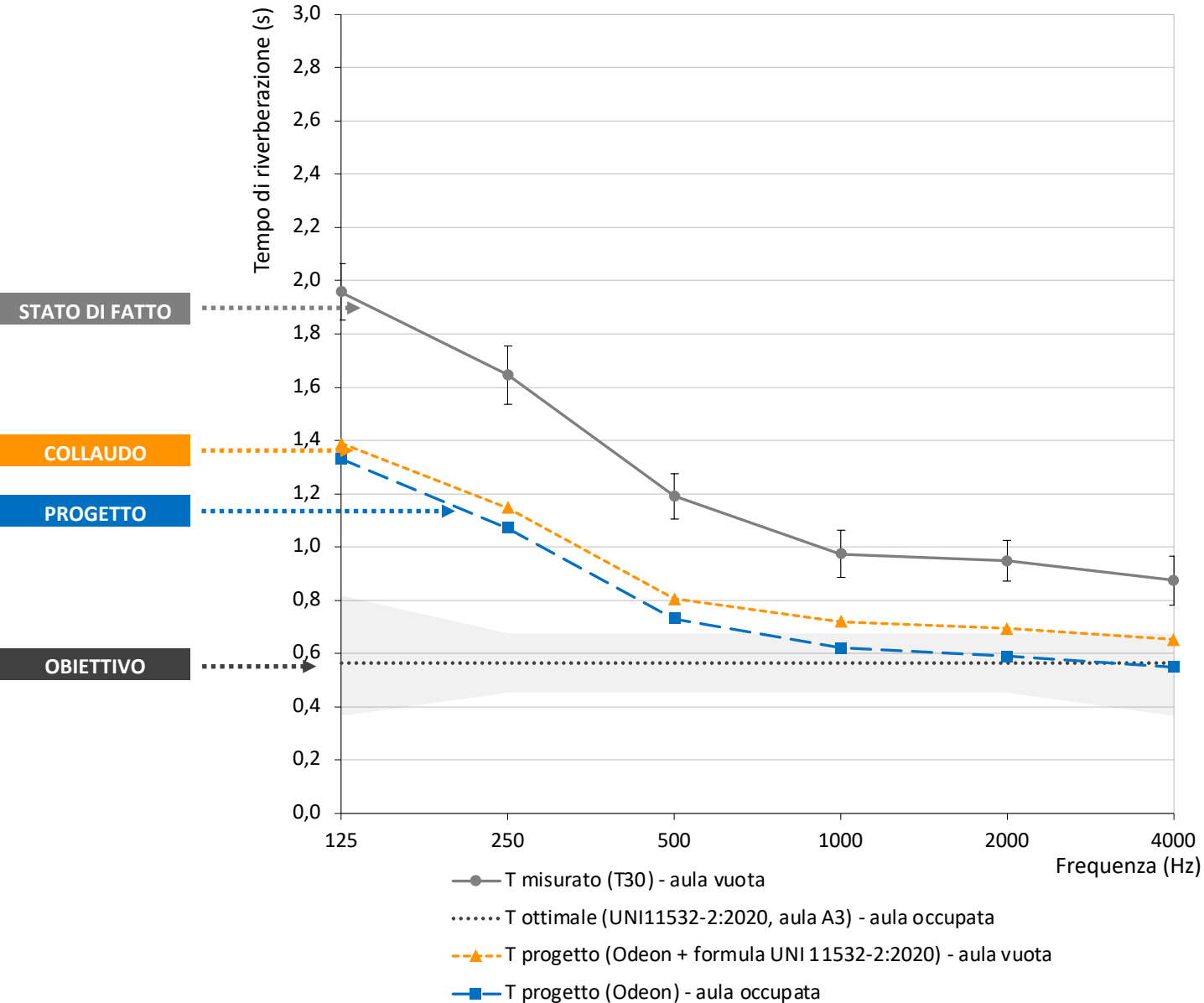
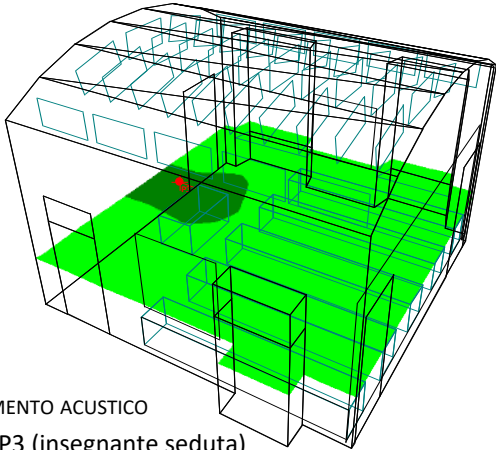
1. ANALISI GENERALE



MAPPA STI
SENZA TRATTAMENTO ACUSTICO
_ sorgente P3 (insegnante seduta)
_ rumore di fondo NC30



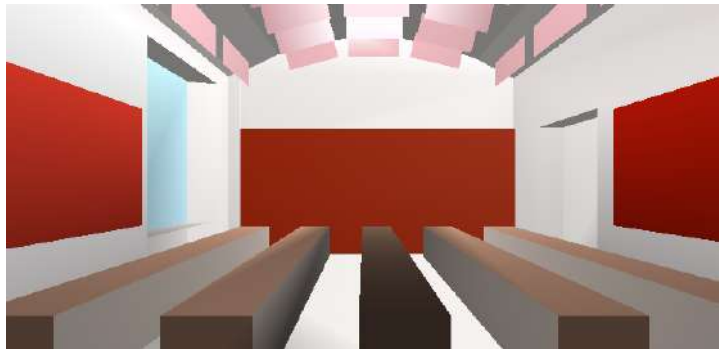
MAPPA STI
CON TRATTAMENTO ACUSTICO
_ sorgente P3 (insegnante seduta)
_ rumore di fondo NC30



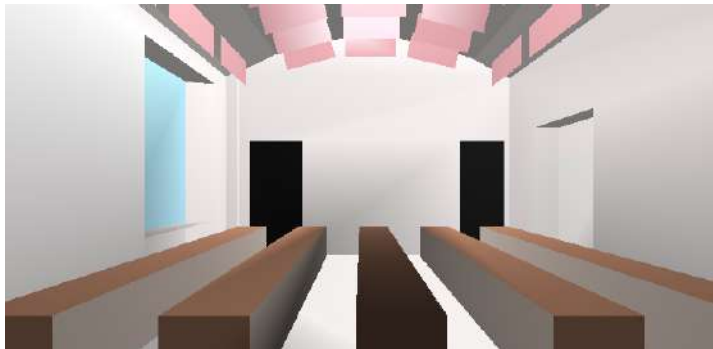
	Tempo di riverberazione, T (s)						T _m (250-500-1000-2000 Hz)
	125	250	500	1000	2000	4000	
T misurato (T ₃₀) - aula vuota	1,96	1,65	1,19	0,97	0,95	0,87	1,2
T ottimale (UNI11532-2:2020, aula A3) - aula occupata	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,6
T progetto (Odeon + formula UNI 11532-2:2020) - aula vuota	1,39	1,15	0,80	0,72	0,69	0,65	0,8
T progetto (Odeon) - aula occupata	1,33	1,07	0,73	0,62	0,59	0,55	0,8



CON TRATTAMENTO ACUSTICO



SENZA TRATTAMENTO ACUSTICO

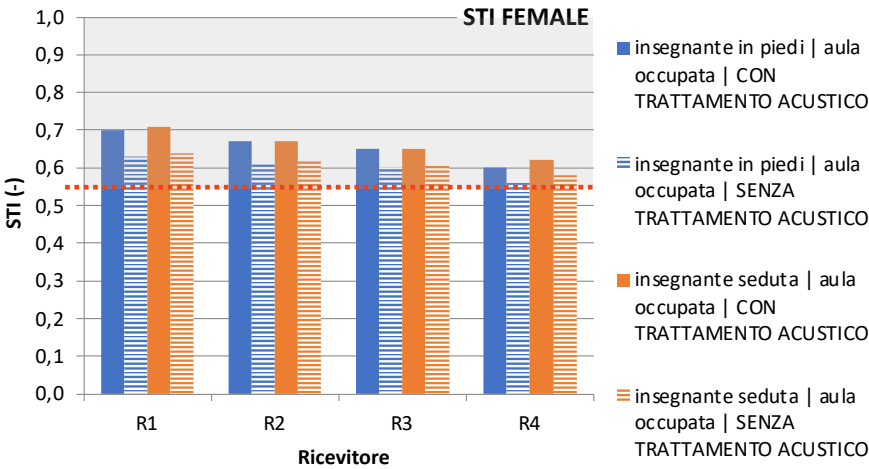


OBIETTIVO: $STI \geq 0,55$

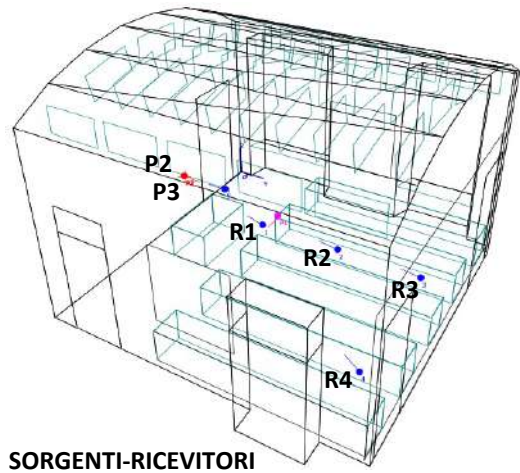
RISULTATI: media dei valori in R1, R2, R3 e R4

$STI (female)_{insegnante\ in\ piedi} = 0,66$

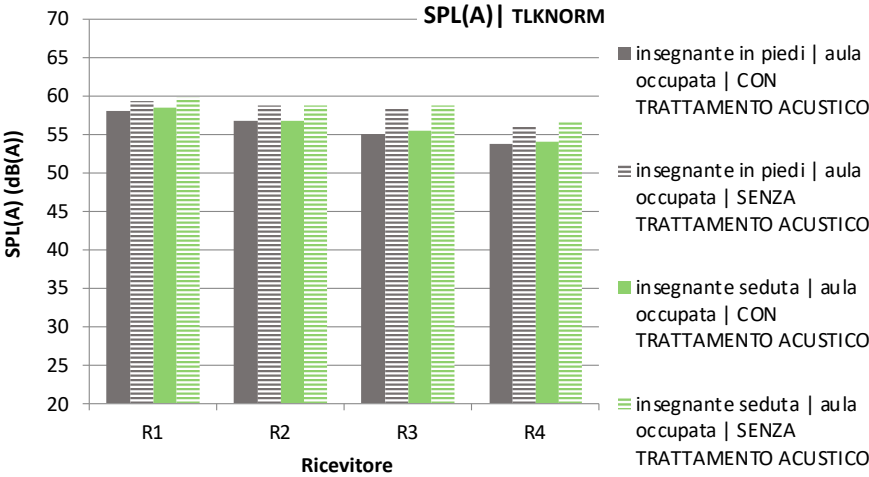
$STI (female)_{insegnante\ seduta} = 0,66$



..... obiettivo minimo intervallo di conformità



SORGENTI-RICEVITORI

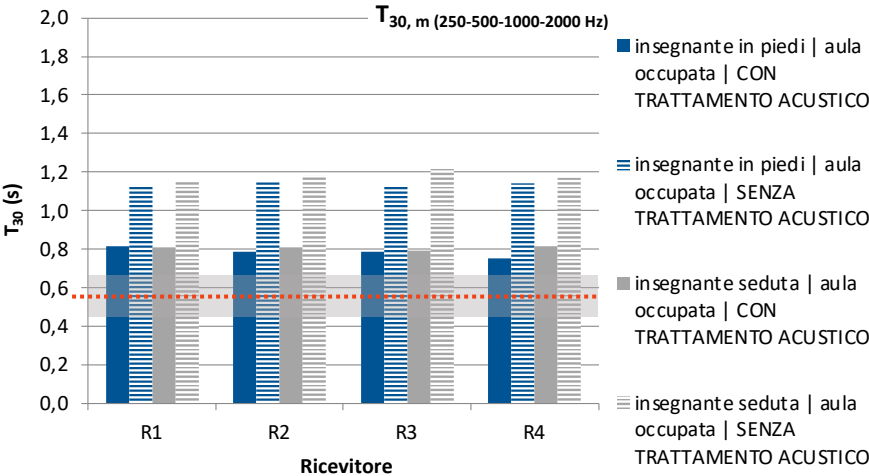


OBIETTIVO: $T_m (250-500-1000-2000\ Hz) = 0,6\ s$

RISULTATI: media dei valori in R1, R2, R3 e R4

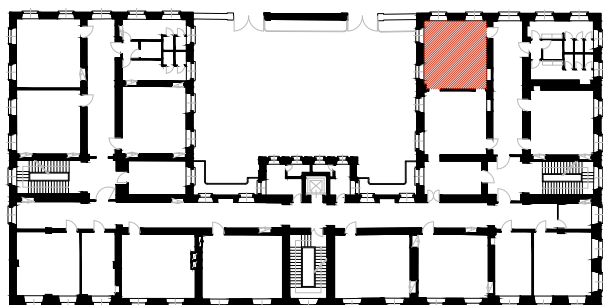
$T_{30, m} (250-500-1000-2000\ Hz) = 0,8\ s$ (insegnante in piedi)

$T_{30, m} (250-500-1000-2000\ Hz) = 0,8\ s$ (insegnante seduta)

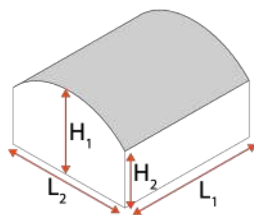


..... obiettivo intervallo di conformità

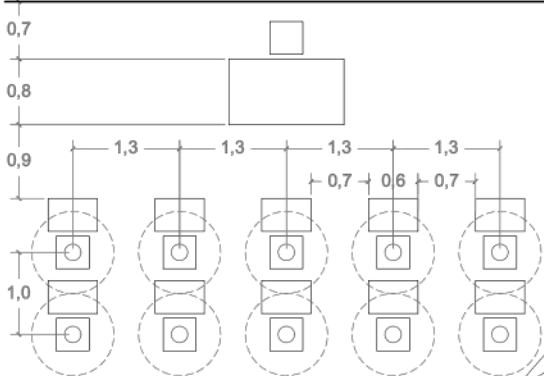
Beta Test 01 | REFETTORIO 2



PIANO PRIMO

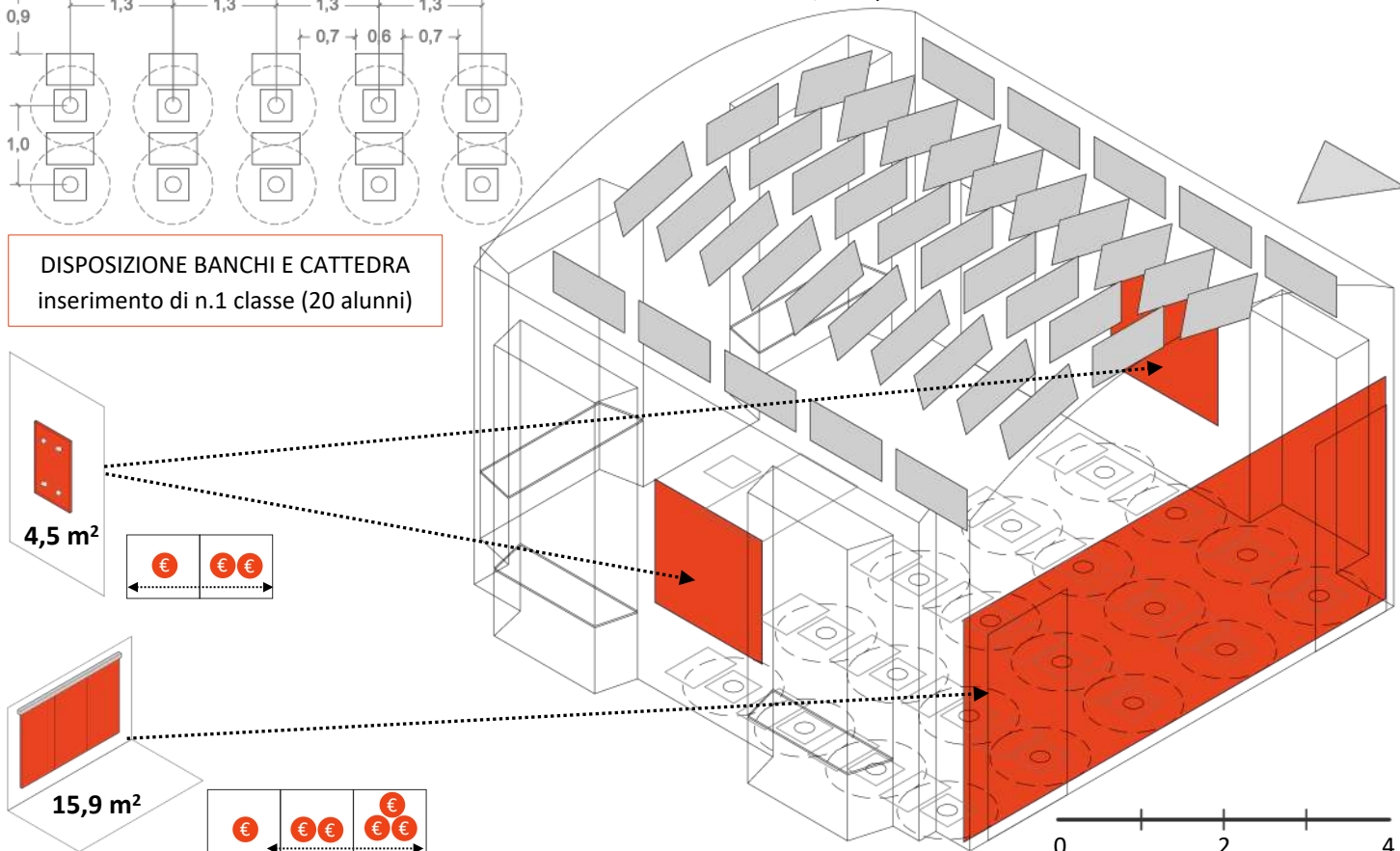


$L_1 = 6,7 \text{ m}$ $L_2 = 6,2 \text{ m}$
 $H_1 = 4,8 \text{ m}$ $H_2 = 3,9 \text{ m}$
 $A_{\text{pav}} = 42 \text{ m}^2$
 $V = 204 \text{ m}^3$



DISPOSIZIONE BANCHI E CATTEDRA
inserimento di n.1 classe (20 alunni)

- pannelli sospesi mediantemente fonoassorbenti (già presenti)
- trattamento fonoassorbente e fonoisolante (**27%** circa della somma delle aree delle pareti laterali e della parete di fondo – **20,4 m²**)



1. ANALISI GENERALE

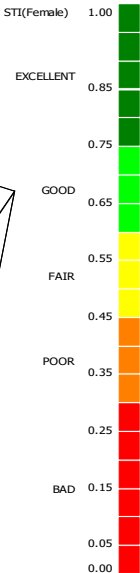
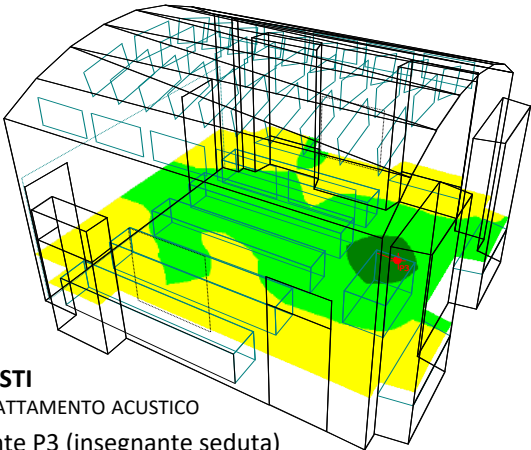


MAPPA STI

SENZA TRATTAMENTO ACUSTICO

_ sorgente P3 (insegnante seduta)

_ rumore di fondo NC30

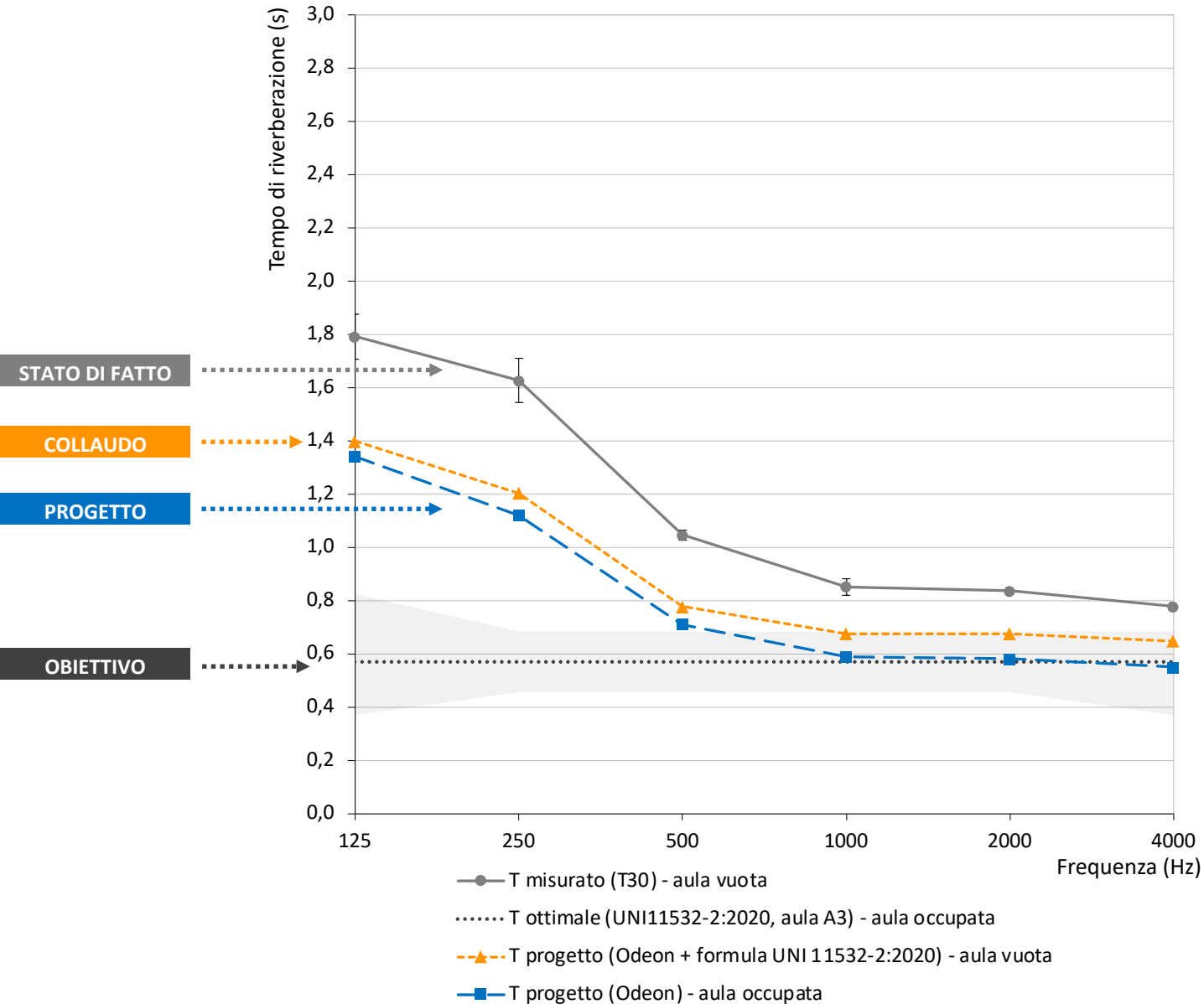
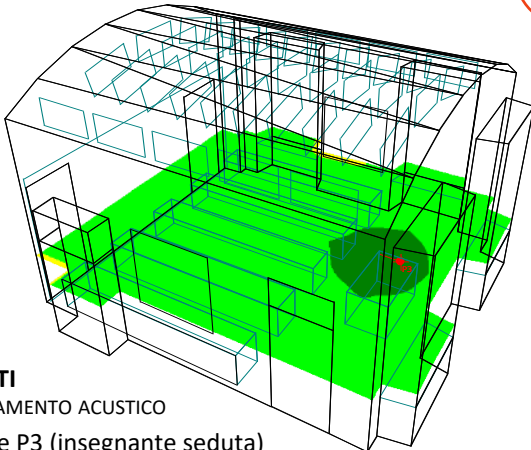


MAPPA STI

CON TRATTAMENTO ACUSTICO

_ sorgente P3 (insegnante seduta)

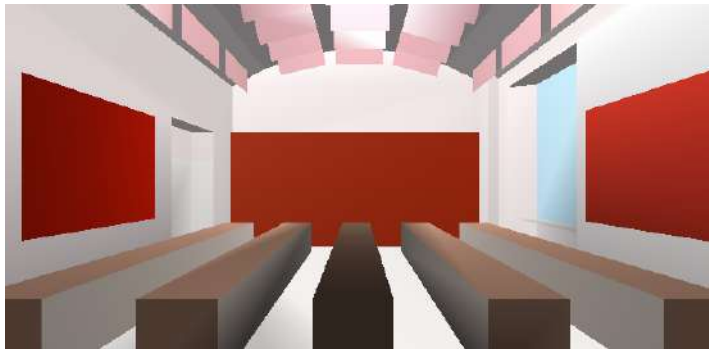
_ rumore di fondo NC30



	Tempo di riverberazione, T (s)						T _m (250-500-1000-2000 Hz)
	125	250	500	1000	2000	4000	
T misurato (T ₃₀) - aula vuota	1,79	1,63	1,05	0,85	0,84	0,78	1,1
T ottimale (UNI11532-2:2020, aula A3) - aula occupata	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57	0,6
T progetto (Odeon + formula UNI 11532-2:2020) - aula vuota	1,40	1,20	0,78	0,68	0,68	0,65	0,8
T progetto (Odeon) - aula occupata	1,34	1,12	0,71	0,59	0,58	0,55	0,8



CON TRATTAMENTO ACUSTICO



SENZA TRATTAMENTO ACUSTICO



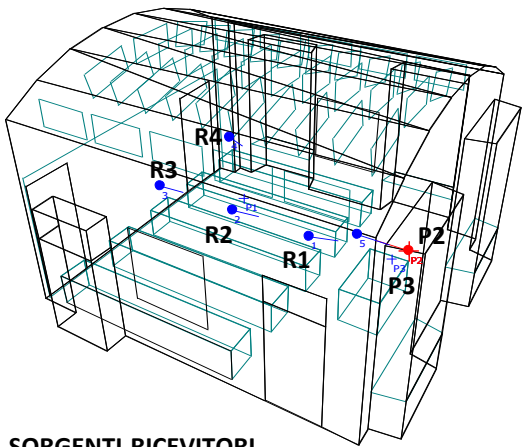
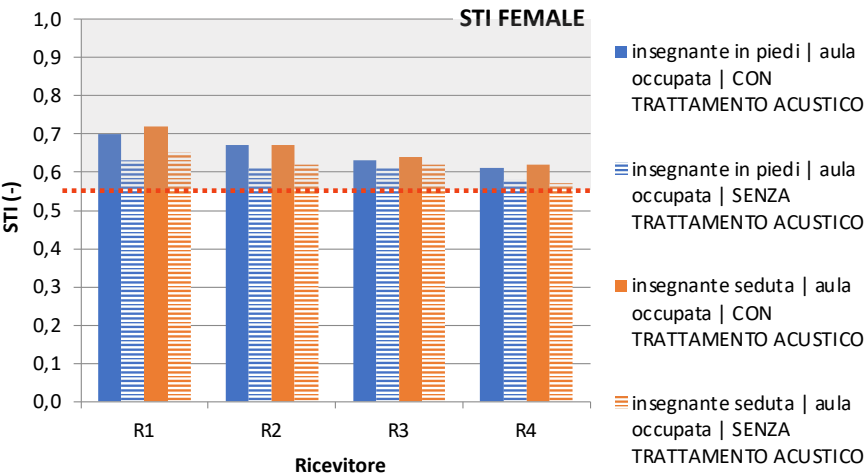
OBIETTIVO: $STI \geq 0,55$

RISULTATI: media dei valori in R1, R2, R3 e R4

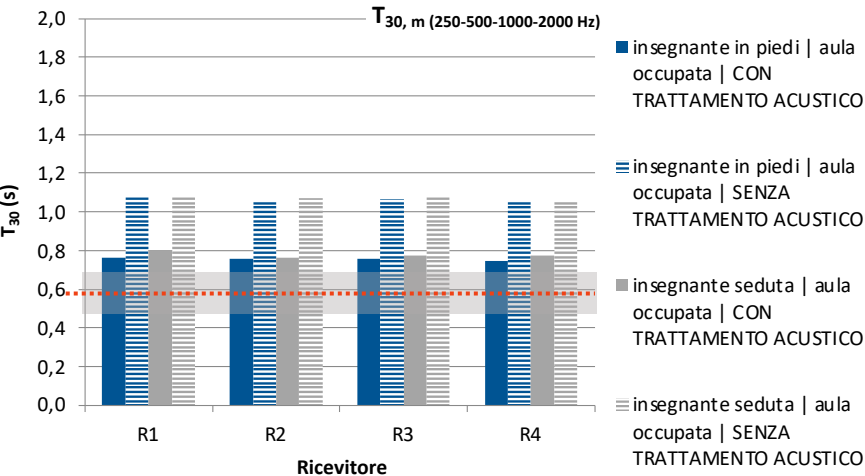
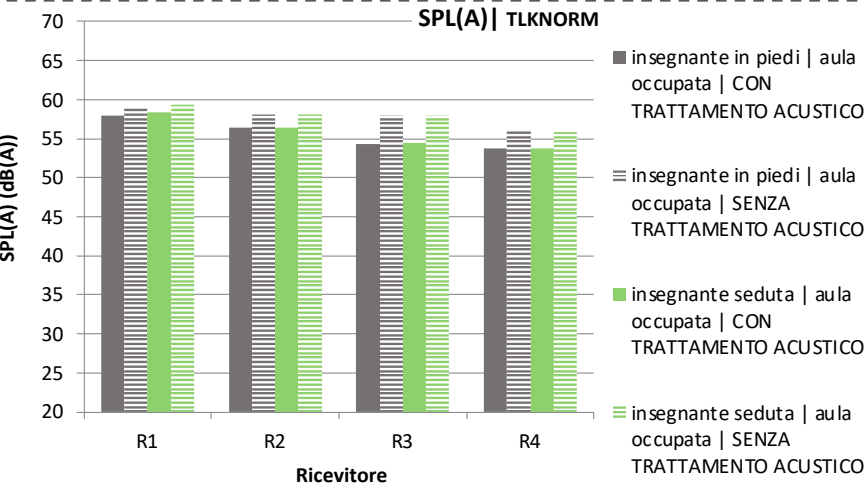
$STI (female)_{insegnante \text{ in piedi}} = 0,65$

$STI (female)_{insegnante \text{ seduta}} = 0,66$

..... obiettivo minimo intervallo di conformità



SORGENTI-RICEVITORI



OBIETTIVO: $T_m (250-500-1000-2000 \text{ Hz}) = 0,6 \text{ s}$

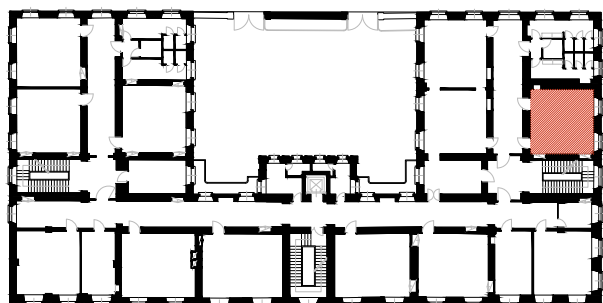
RISULTATI: media dei valori in R1, R2, R3 e R4

$T_{30, m} (250-500-1000-2000 \text{ Hz}) = 0,8 \text{ s}$ (insegnante in piedi)

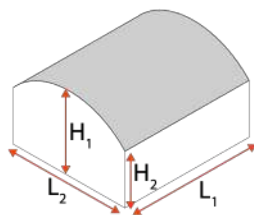
$T_{30, m} (250-500-1000-2000 \text{ Hz}) = 0,8 \text{ s}$ (insegnante seduta)

..... obiettivo intervallo di conformità

Beta Test 01 | REFETTORIO 3



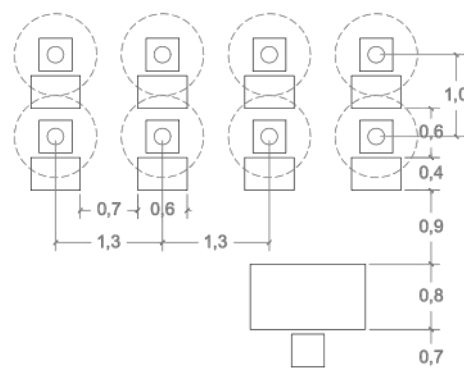
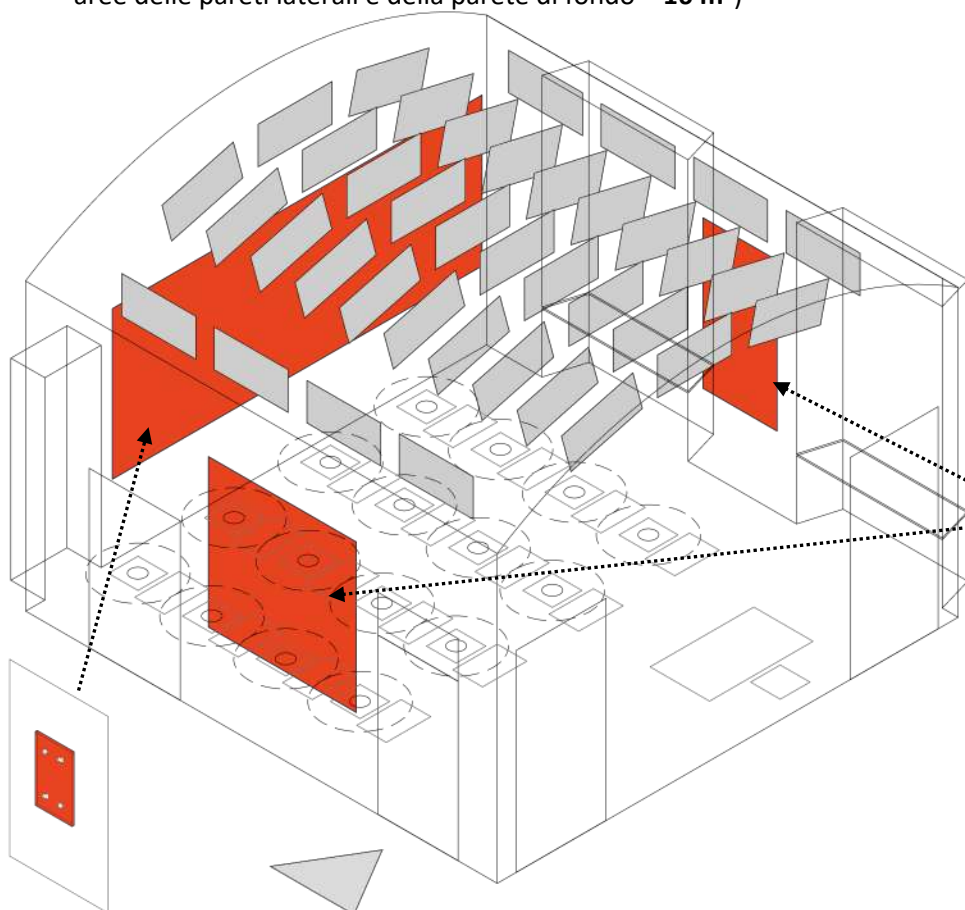
PIANO PRIMO



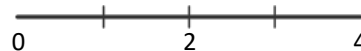
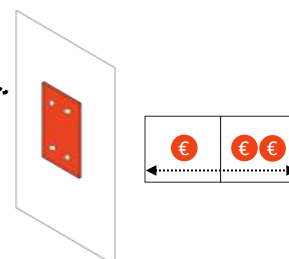
$$\begin{aligned} L_1 &= 6,4 \text{ m} \quad L_2 = 6,2 \text{ m} \\ H_1 &= 4,8 \text{ m} \quad H_2 = 3,9 \text{ m} \\ A_{\text{pav}} &= 39 \text{ m}^2 \\ V &= 194 \text{ m}^3 \end{aligned}$$



-  pannelli sospesi mediamente fonoassorbenti (già presenti)
-  trattamento fonoassorbente e fonoisolante (**22% circa della somma delle aree delle pareti laterali e della parete di fondo – 16 m²**)



DISPOSIZIONE BANCHI E CATTEDRA
inserimento di n.1 classe (16 alunni)



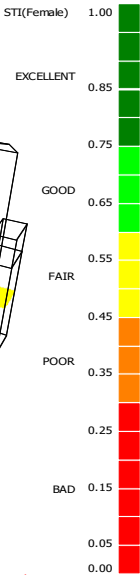
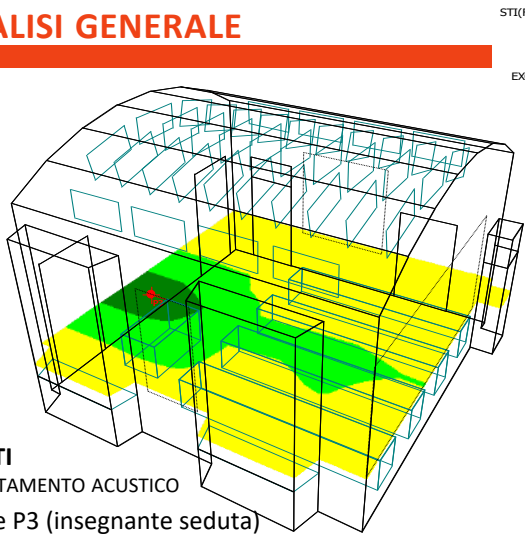
1. ANALISI GENERALE



MAPPA STI

SENZA TRATTAMENTO ACUSTICO

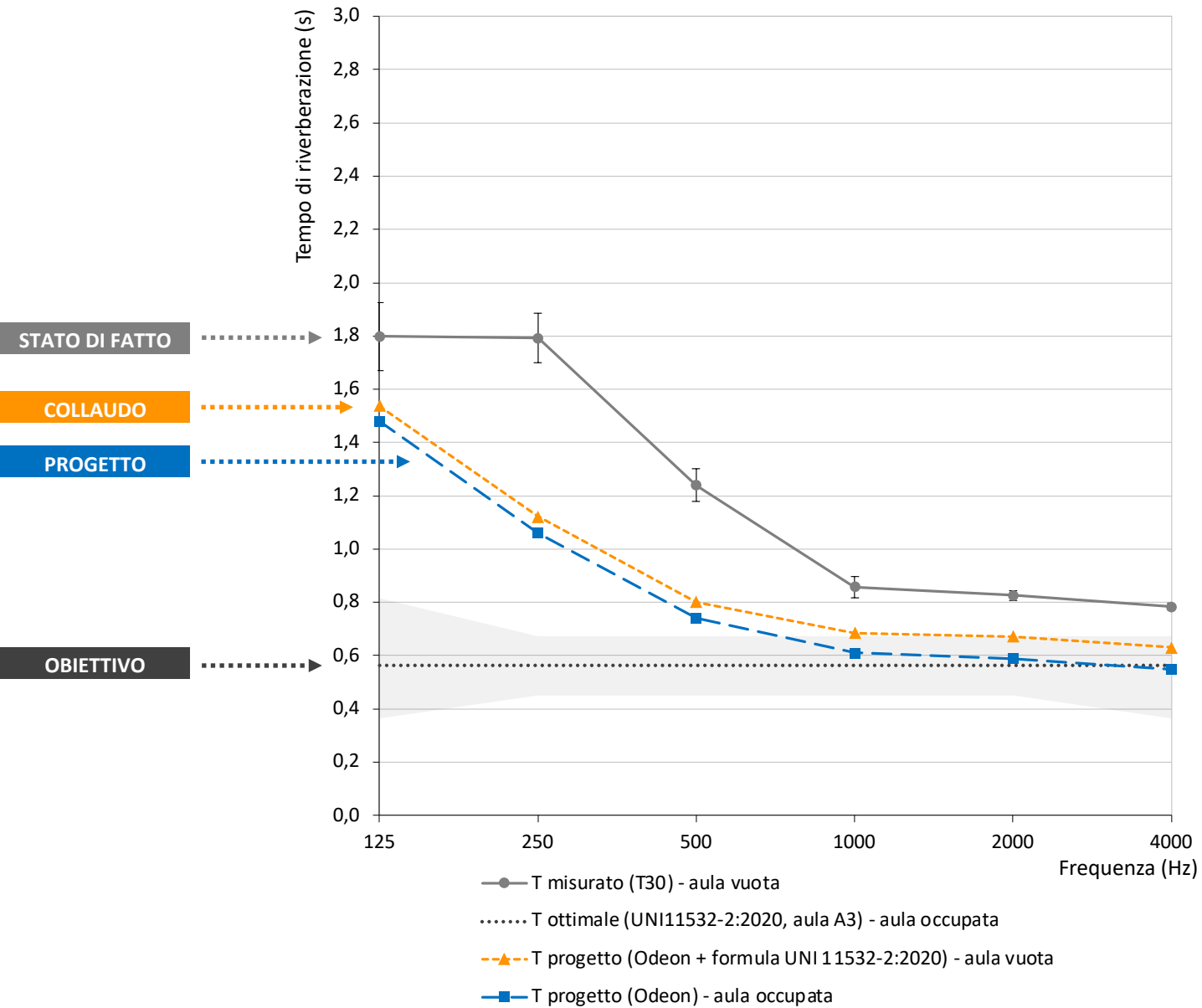
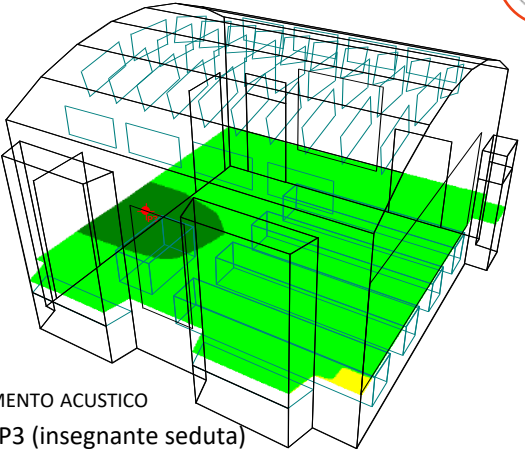
_ sorgente P3 (insegnante seduta)
_ rumore di fondo NC30



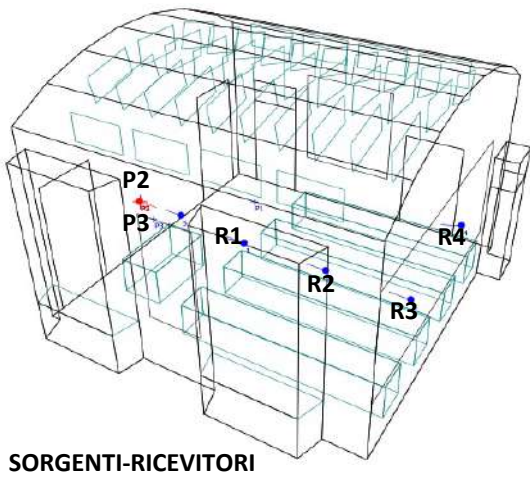
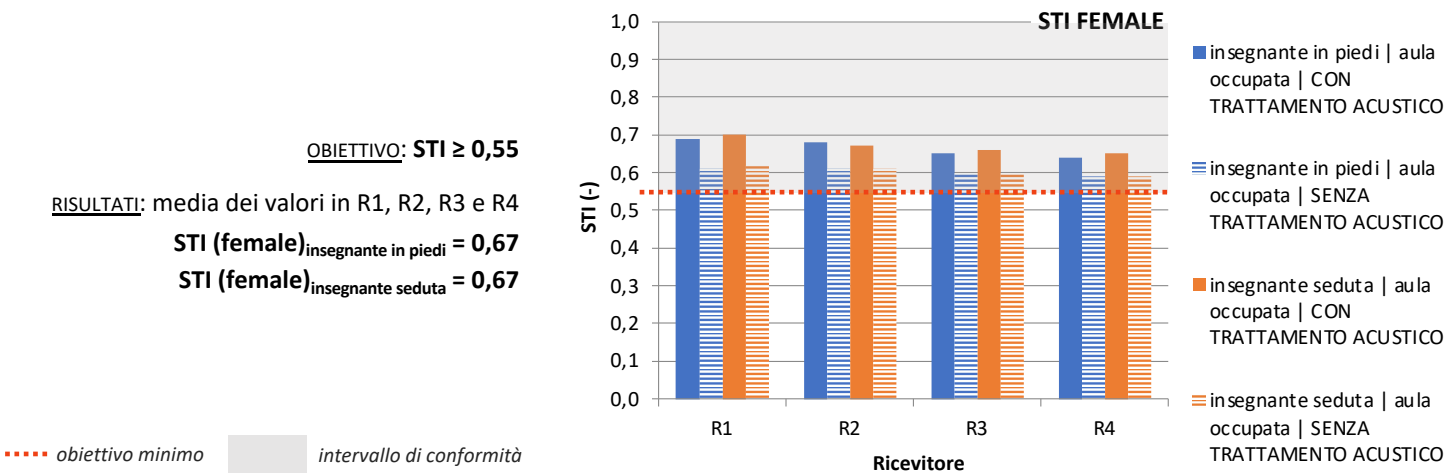
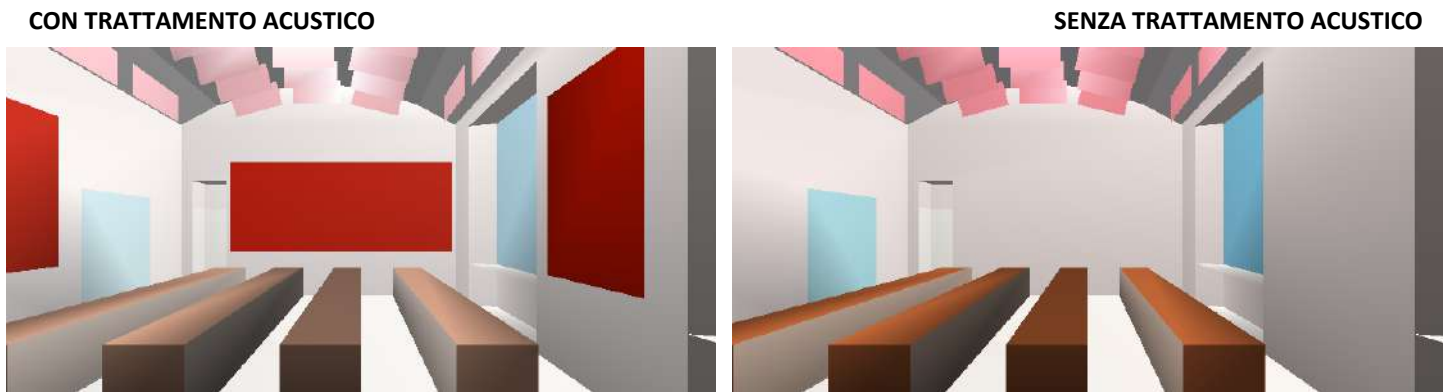
MAPPA STI

CON TRATTAMENTO ACUSTICO

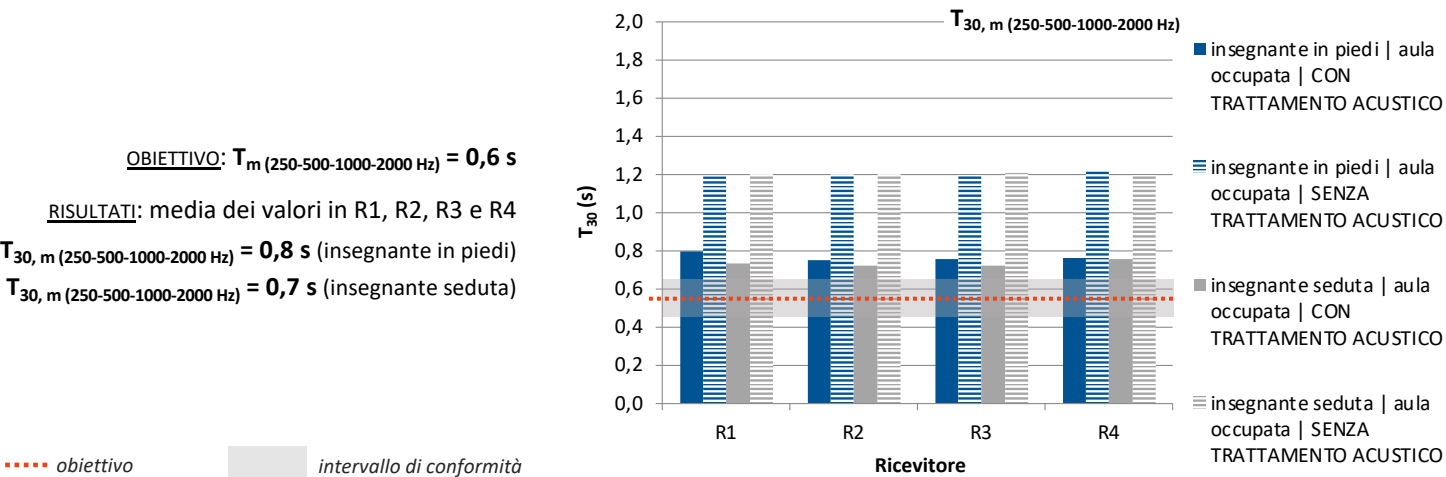
_ sorgente P3 (insegnante seduta)
_ rumore di fondo NC30



	Tempo di riverberazione, T (s)						T _m (250-500-1000-2000 Hz)
	125	250	500	1000	2000	4000	
T misurato (T ₃₀) - aula vuota	1,80	1,79	1,24	0,86	0,83	0,78	1,2
T ottimale (UNI11532-2:2020, aula A3) - aula occupata	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,6
T progetto (Odeon + formula UNI 11532-2:2020) - aula vuota	1,54	1,12	0,80	0,69	0,67	0,63	0,8
T progetto (Odeon) - aula occupata	1,48	1,06	0,74	0,61	0,59	0,55	0,8



SORGENTI-RICEVITORI



..... obiettivo intervallo di conformità

DETTAGLI

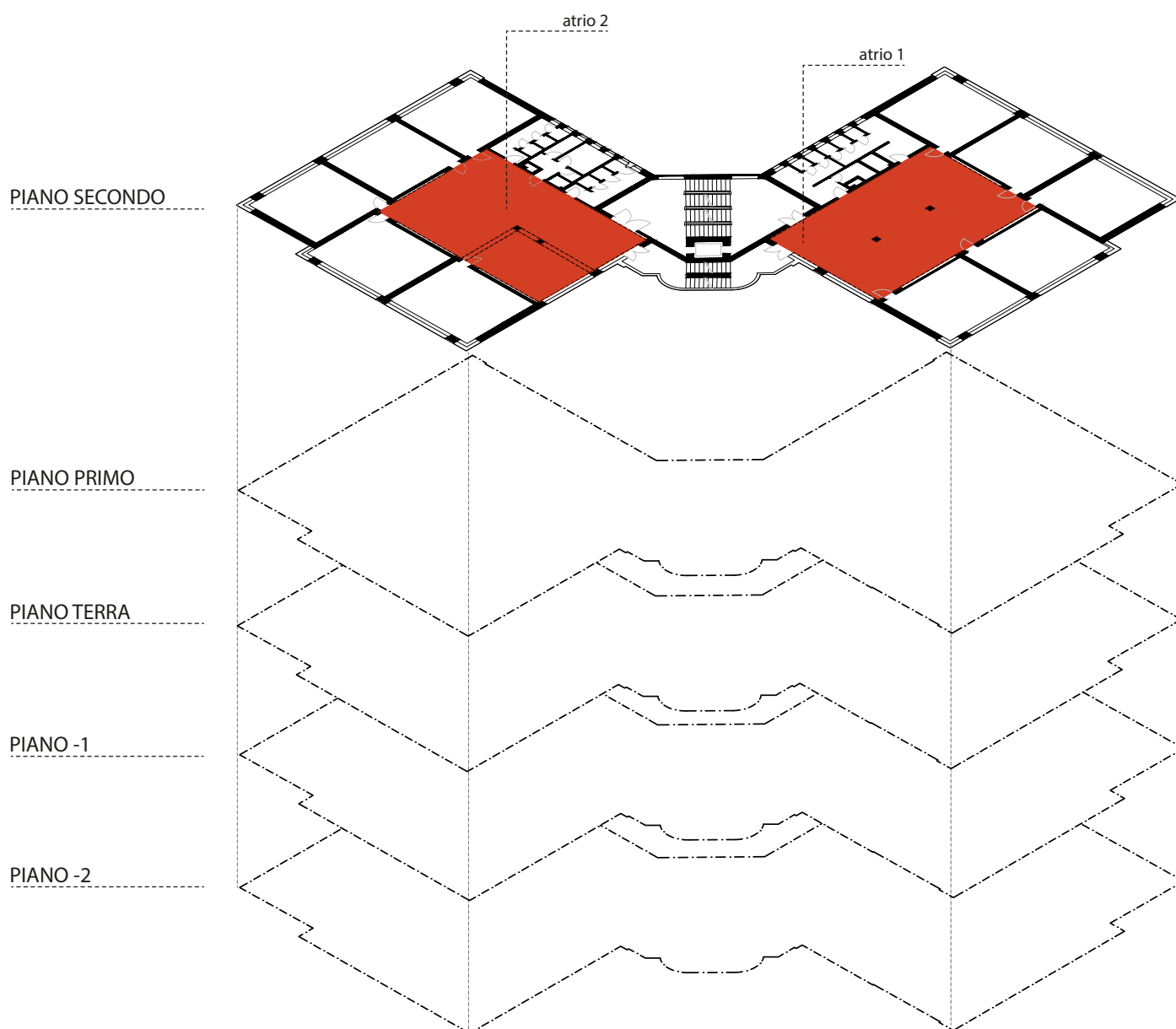
corso Sicilia 40, Torino
2000-2001 costruzione

Il plesso in oggetto è la succursale della scuola Nievo-Matteotti. Le sedi di entrambe le scuole hanno identica struttura, essendo state realizzate in base a un unico progetto architettonico. L'edificio è composto da due corpi di fabbrica con base quadrata che si intersecano fra di loro, sfalsati in quota dell'equivalente di mezzo piano e collegati da due rampe parallele di scale poste nella zona di intersezione. Un terzo corpo autonomo, contiene le due palestre.

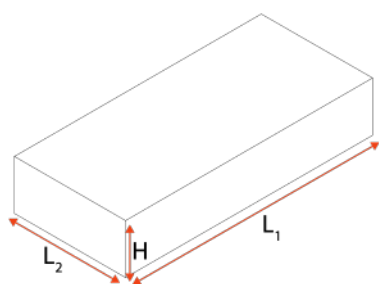
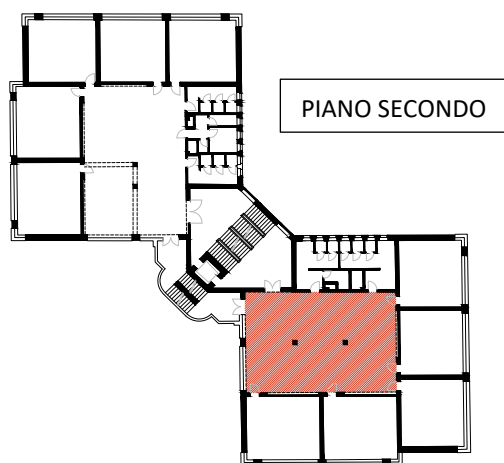
L'edificio è in calcestruzzo e muratura, con grandi finestre vetrate a nastro.



Atrio 1	502 m ³
Atrio 2	499 m ³



Beta Test 02 | ATRIO 1



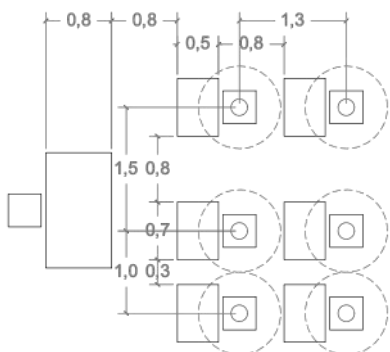
$$L_1 = 15,3 \text{ m}$$

$$L_2 = 10,2 \text{ m}$$

$$H = 3,2 \text{ m}$$

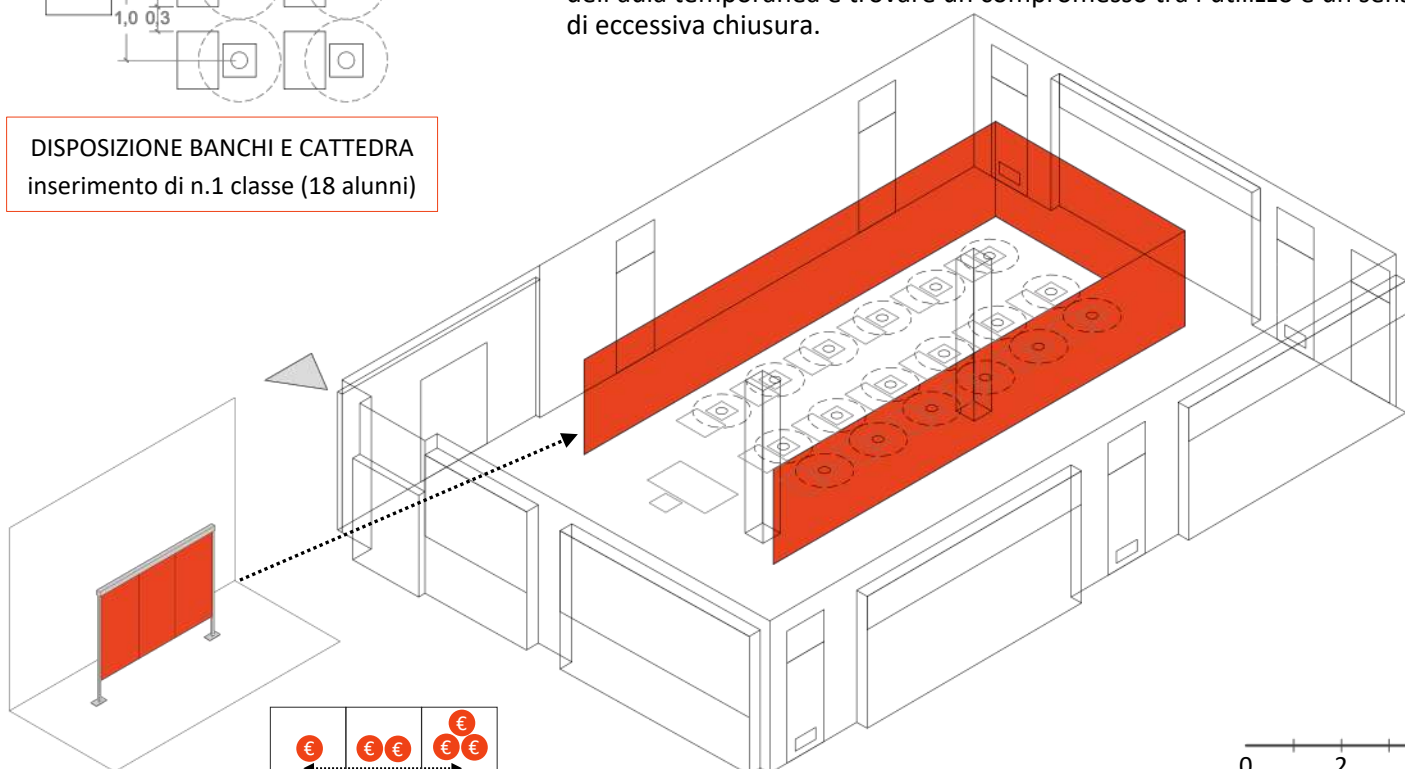
$$A_{\text{pav}} = 157 \text{ m}^2$$

$$V = 502 \text{ m}^3$$



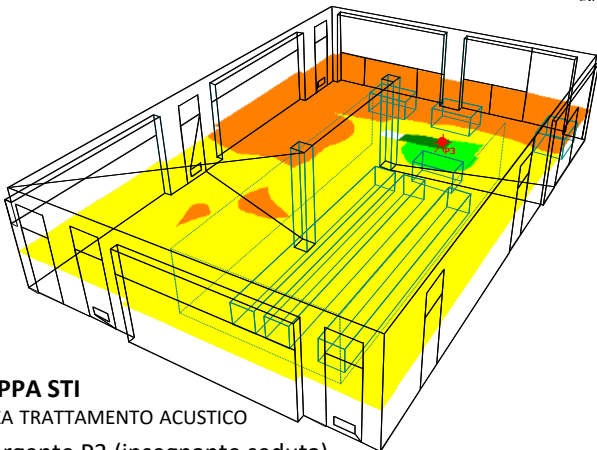
DISPOSIZIONE BANCHI E CATTEDRA
inserimento di n.1 classe (18 alunni)

trattamento fonoassorbente e fonoisolante: realizzando un'aula temporanea in uno spazio aperto di passaggio, il trattamento deve essere posto intorno all'area occupata dagli alunni. In questo caso il trattamento è di circa **49 m²**, alto 2 m e posto a 20 cm da pavimento. Non è stato considerato un trattamento a tutta altezza per consentire a parte della luce esterna che proviene dalle finestre di illuminare, seppure parzialmente, i corridoi che si creano con la realizzazione dell'aula temporanea e trovare un compromesso tra l'utilizzo e un senso di eccessiva chiusura.

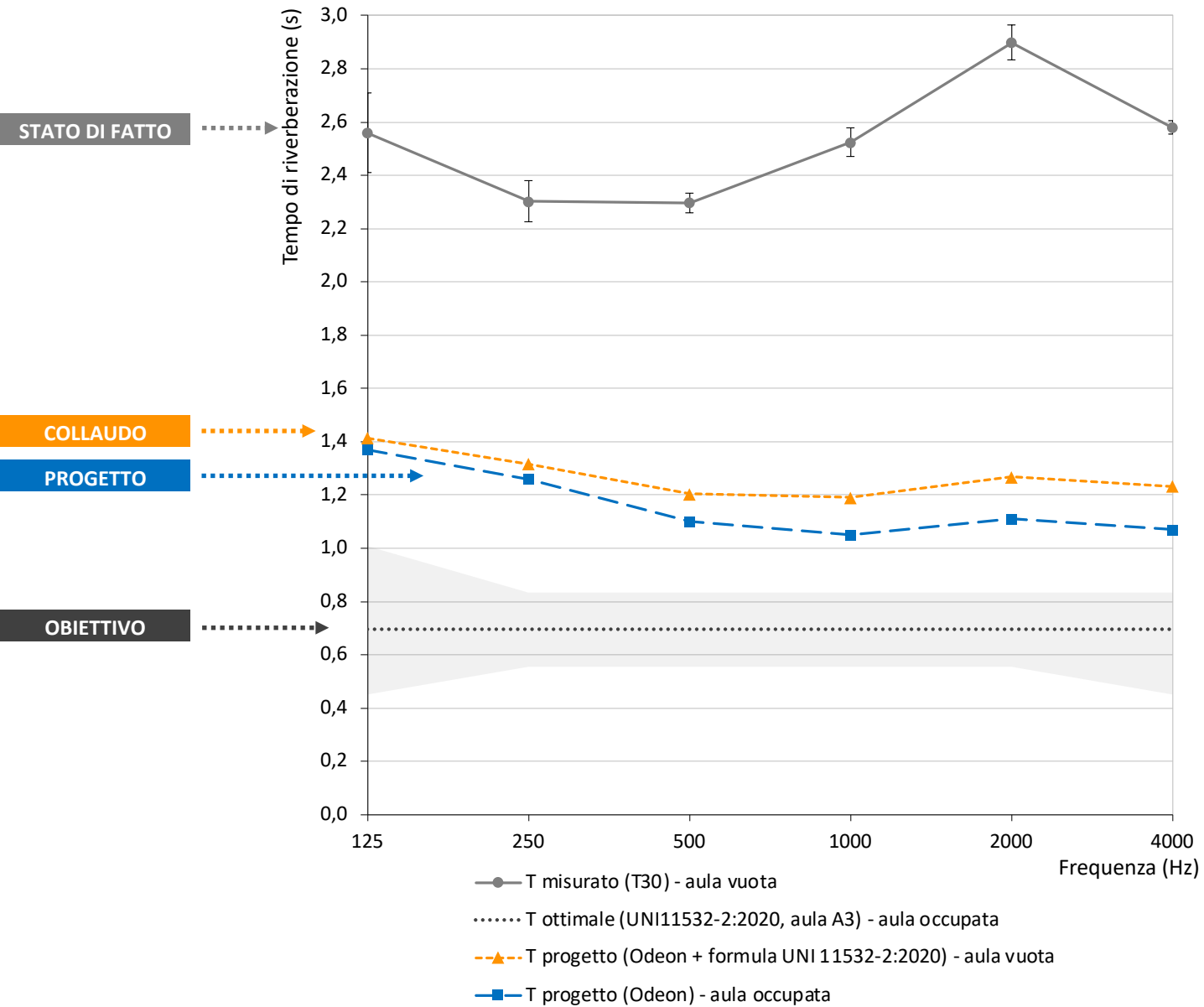
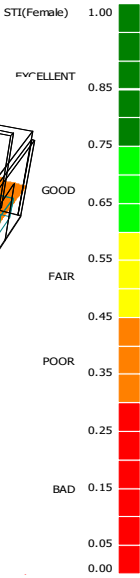
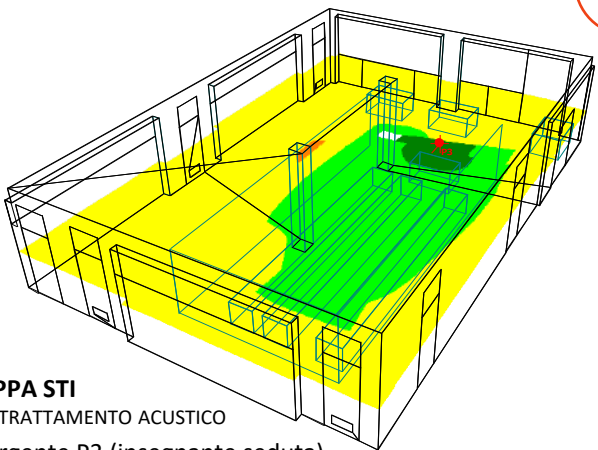


1. ANALISI GENERALE

MAPPA STI
SENZA TRATTAMENTO ACUSTICO
_ sorgente P3 (insegnante seduta)
_ rumore di fondo NC30



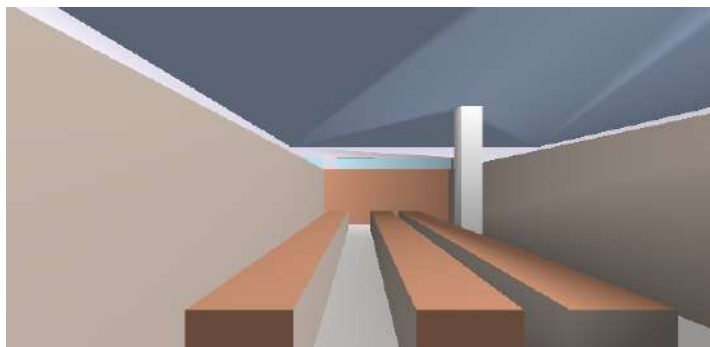
MAPPA STI
CON TRATTAMENTO ACUSTICO
_ sorgente P3 (insegnante seduta)
_ rumore di fondo NC30



	Tempo di riverberazione, T (s)						T _m (250-500-1000-2000 Hz)
	125	250	500	1000	2000	4000	
T misurato (T ₃₀) - aula vuota	2,56	2,30	2,30	2,52	2,90	2,58	2,5
T ottimale (UNI11532-2:2020, aula A3) - aula occupata	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,7
T progetto (Odeon + formula UNI 11532-2:2020) - aula vuota	1,41	1,32	1,20	1,19	1,27	1,23	1,2
T progetto (Odeon) - aula occupata	1,37	1,26	1,10	1,05	1,11	1,07	1,1



CON TRATTAMENTO ACUSTICO



SENZA TRATTAMENTO ACUSTICO



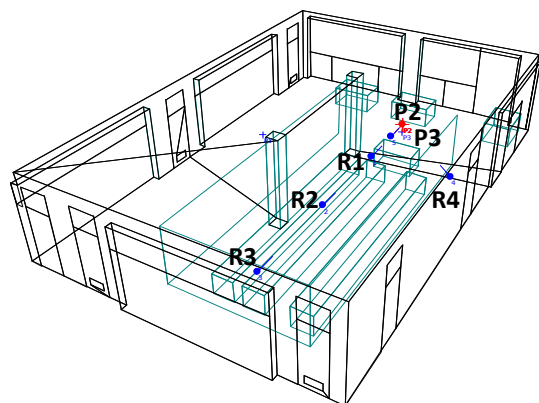
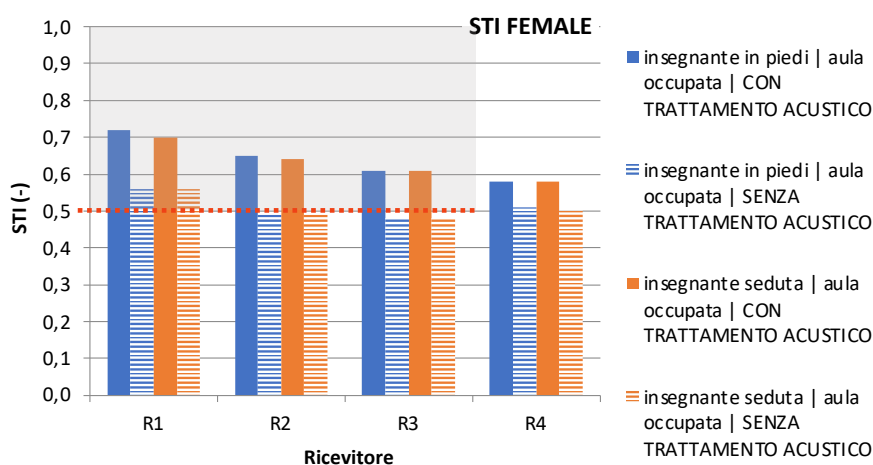
OBIETTIVO: $STI \geq 0,50$

RISULTATI: media dei valori in R1, R2 e R3. Il ricevitore in R4 non è stato considerato nella media poiché è fuori dallo spazio didattico: nella sua posizione il valore di STI può essere inferiore rispetto al valore obiettivo

$STI (female)_{insegnante \text{ in piedi}} = 0,66$

$STI (female)_{insegnante \text{ seduta}} = 0,65$

..... obiettivo minimo intervallo di conformità



SORGENTI-RICEVITORI

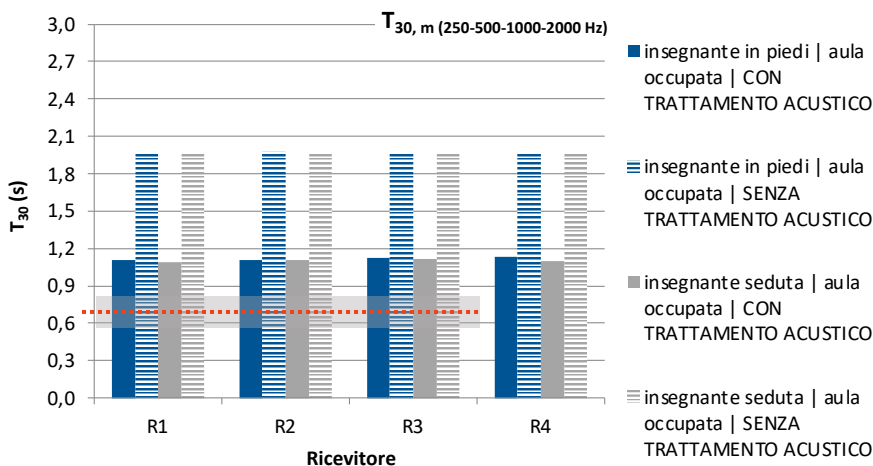
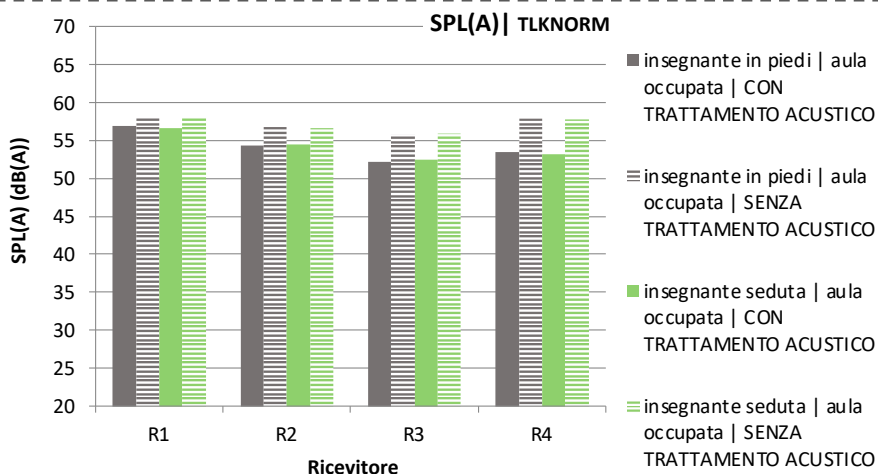
OBIETTIVO: $T_m (250-500-1000-2000 \text{ Hz}) = 0,7 \text{ s}$

RISULTATI: media dei valori in R1, R2 e R3. Il ricevitore in R4 non è stato considerato nella media poiché è fuori dallo spazio didattico: nella sua posizione il valore di tempo di riverberazione può essere superiore rispetto al valore obiettivo

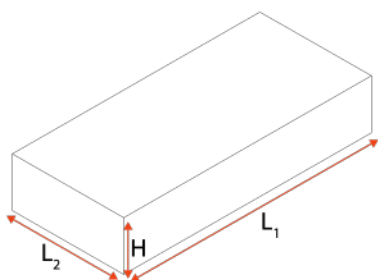
$T_{30, m} (250-500-1000-2000 \text{ Hz}) = 1,1 \text{ s}$ (insegnante in piedi)

$T_{30, m} (250-500-1000-2000 \text{ Hz}) = 1,1 \text{ s}$ (insegnante seduta)

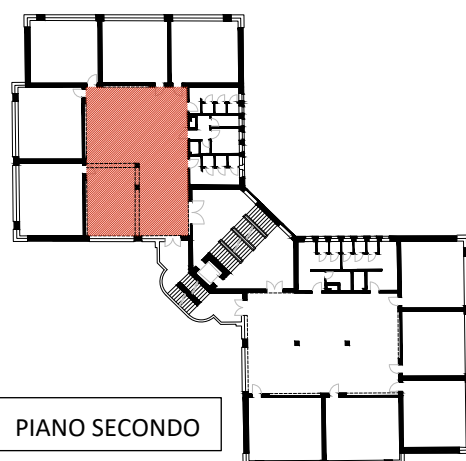
..... obiettivo intervallo di conformità



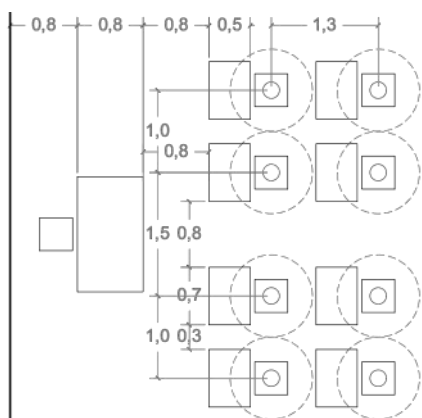
Beta Test 02 | ATRIO 2



$$\begin{aligned} L_1 &= 15,1 \text{ m} \\ L_2 &= 10,3 \text{ m} \\ H &= 3,2 \text{ m} \\ A_{\text{pav}} &= 156 \text{ m}^2 \\ V &= 499 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

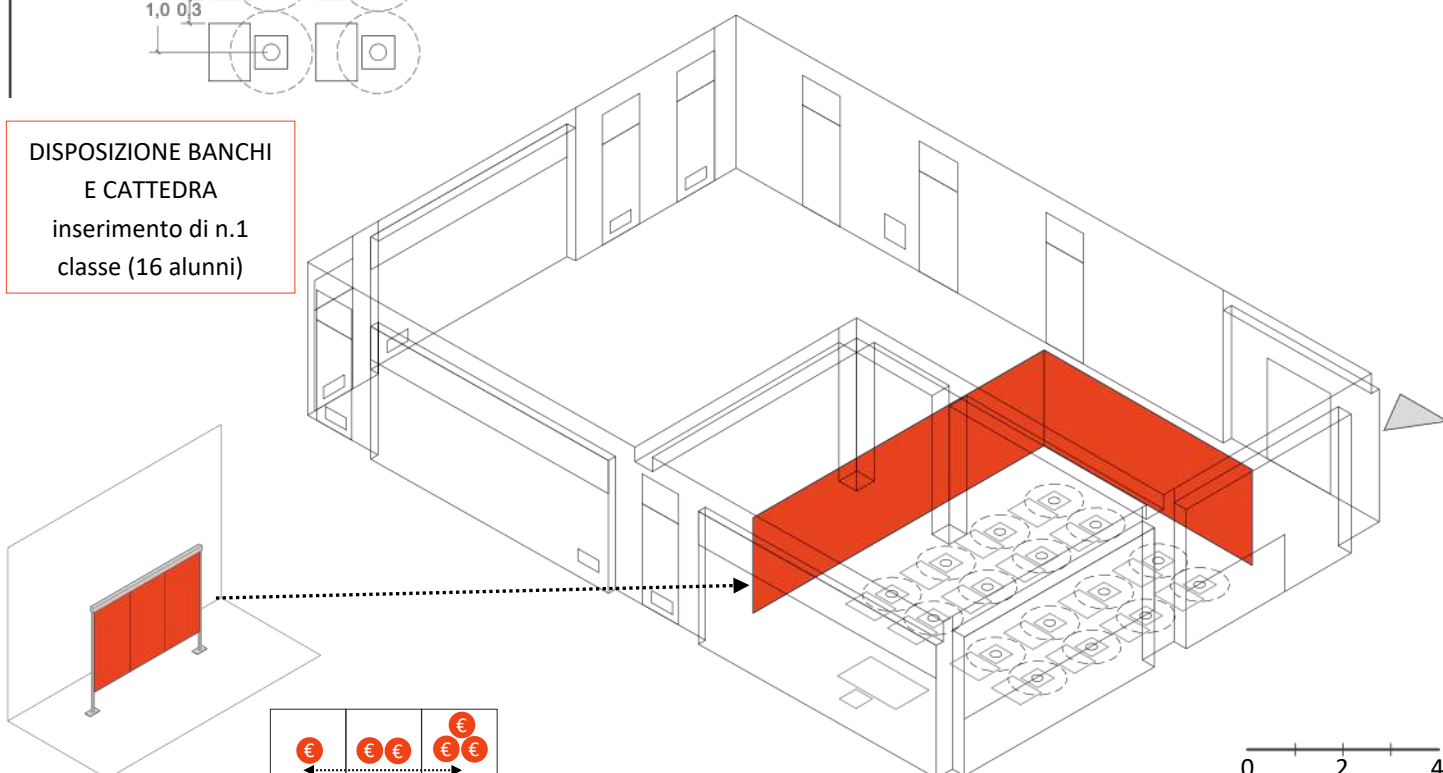


PIANO SECONDO



DISPOSIZIONE BANCHI
E CATTEDRA
inserimento di n.1
classe (16 alunni)

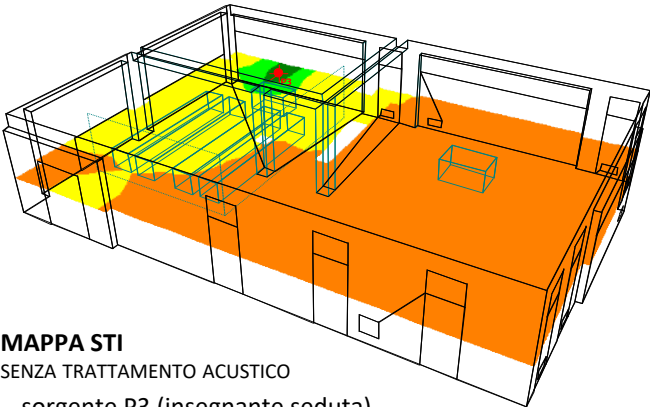
trattamento fonoassorbente e fonoisolante: realizzando un'aula temporanea in uno spazio aperto di passaggio, il trattamento deve essere posto intorno all'area occupata dagli alunni. In questo caso il trattamento è di circa **24 m²**, alto 2 m e posto a 20 cm da pavimento. Non è stato considerato un trattamento a tutta altezza per consentire a parte della luce esterna che proviene dalle finestre di illuminare, seppure parzialmente, l'area rimanente dell'atrio e trovare un compromesso tra l'utilizzo e un senso di eccessiva chiusura.



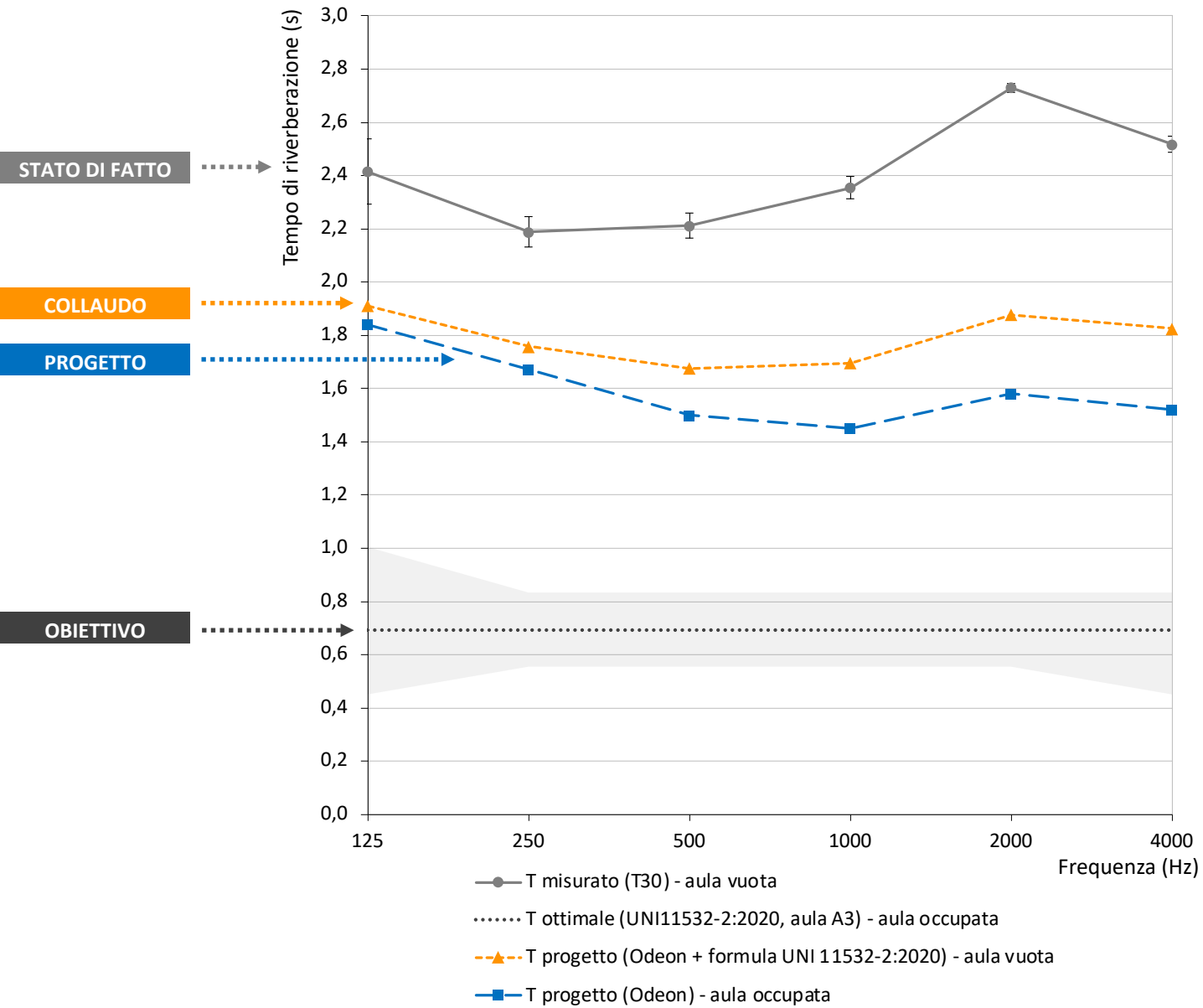
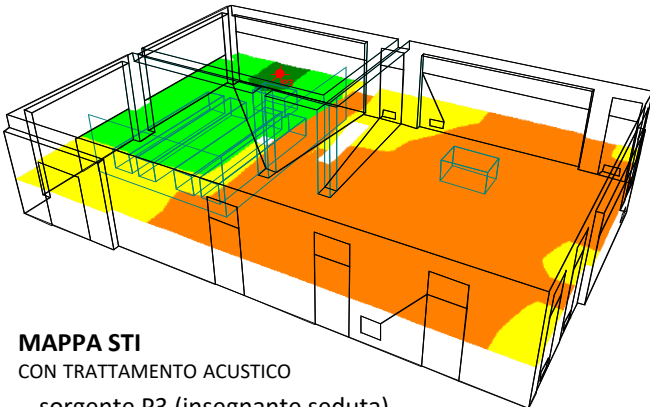
1. ANALISI GENERALE



MAPPA STI
SENZA TRATTAMENTO ACUSTICO
_ sorgente P3 (insegnante seduta)
_ rumore di fondo NC30



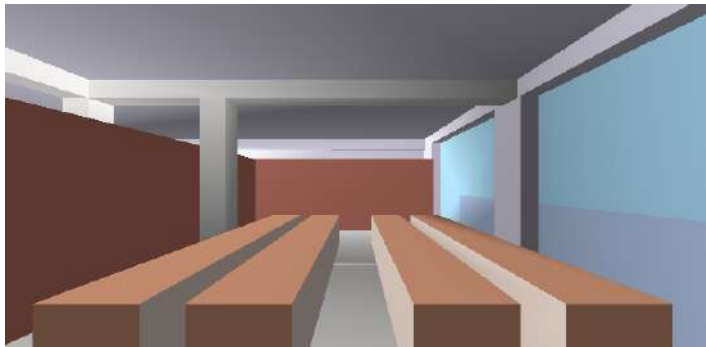
MAPPA STI
CON TRATTAMENTO ACUSTICO
_ sorgente P3 (insegnante seduta)
_ rumore di fondo NC30



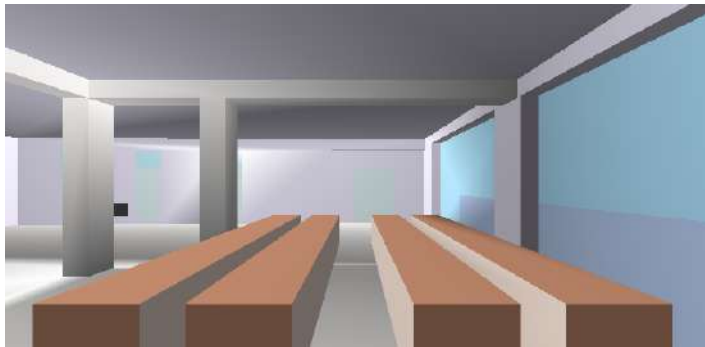
	Tempo di riverberazione, T (s)						T _m (250-500-1000-2000 Hz)
	125	250	500	1000	2000	4000	
T misurato (T ₃₀) - aula vuota	2,42	2,19	2,21	2,35	2,73	2,52	2,4
T ottimale (UNI11532-2:2020, aula A3) - aula occupata	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,7
T progetto (Odeon + formula UNI 11532-2:2020) - aula vuota	1,91	1,76	1,68	1,70	1,88	1,83	1,8
T progetto (Odeon) - aula occupata	1,84	1,67	1,50	1,45	1,58	1,52	1,6



CON TRATTAMENTO ACUSTICO



SENZA TRATTAMENTO ACUSTICO



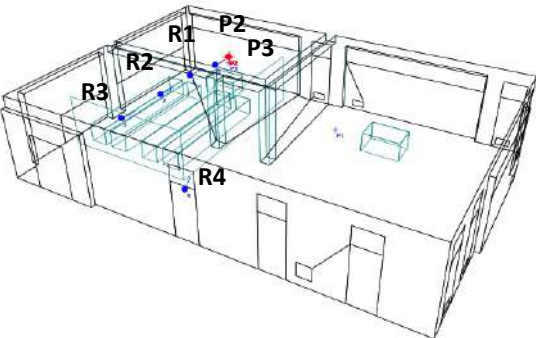
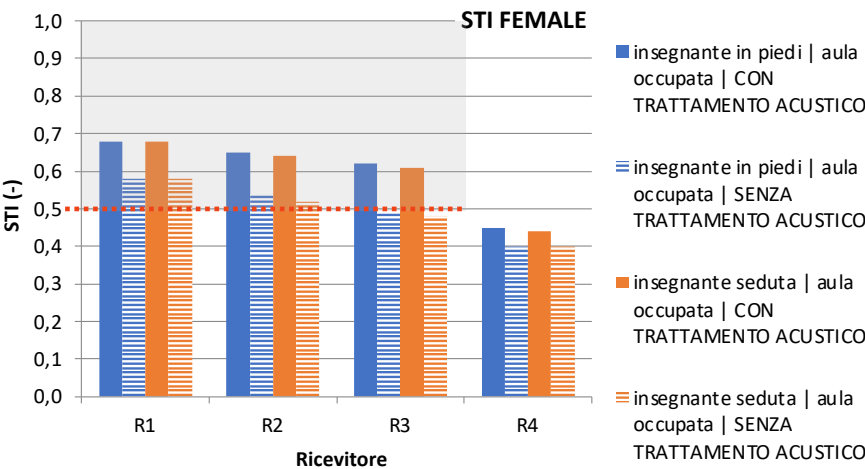
OBIETTIVO: $STI \geq 0,50$

RISULTATI: media dei valori in R1, R2 e R3. Il ricevitore in R4 non è stato considerato nella media poiché è fuori dallo spazio didattico: nella sua posizione il valore di STI può essere inferiore rispetto al valore obiettivo

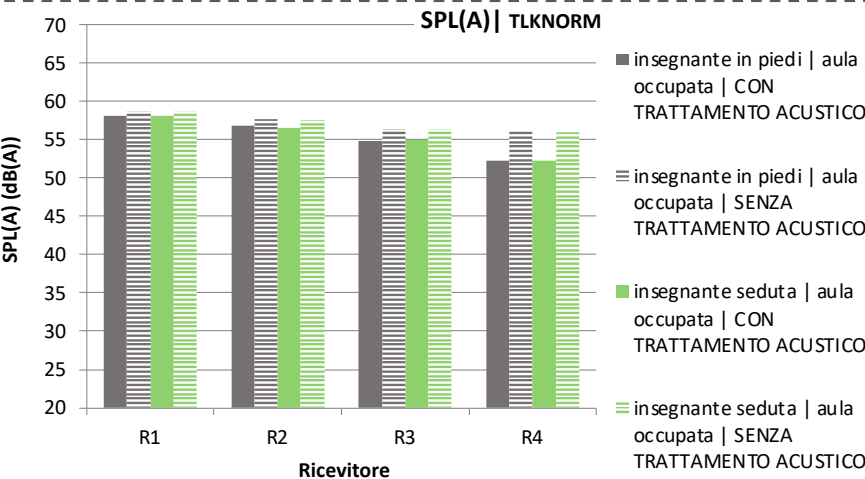
$STI (female)_{insegnante\ in\ piedi} = 0,65$

$STI (female)_{insegnante\ seduta} = 0,64$

..... obiettivo minimo intervallo di conformità



SORGENTI-RICEVITORI



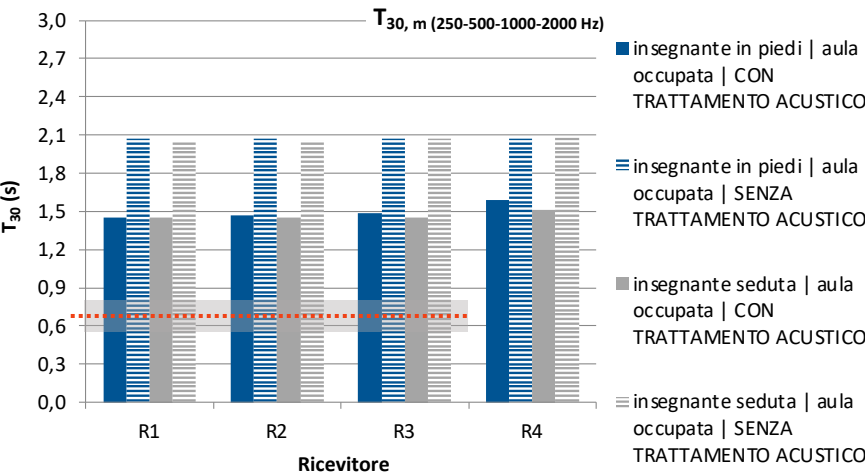
OBIETTIVO: $T_{m(250-500-1000-2000\ Hz)} = 0,7\ s$

RISULTATI: media dei valori in R1, R2 e R3. Il ricevitore in R4 non è stato considerato nella media poiché è fuori dallo spazio didattico: nella sua posizione il valore di tempo di riverberazione può essere superiore rispetto al valore obiettivo

$T_{30, m(250-500-1000-2000\ Hz)} = 1,5\ s$ (insegnante in piedi)

$T_{30, m(250-500-1000-2000\ Hz)} = 1,5\ s$ (insegnante seduta)

..... obiettivo intervallo di conformità

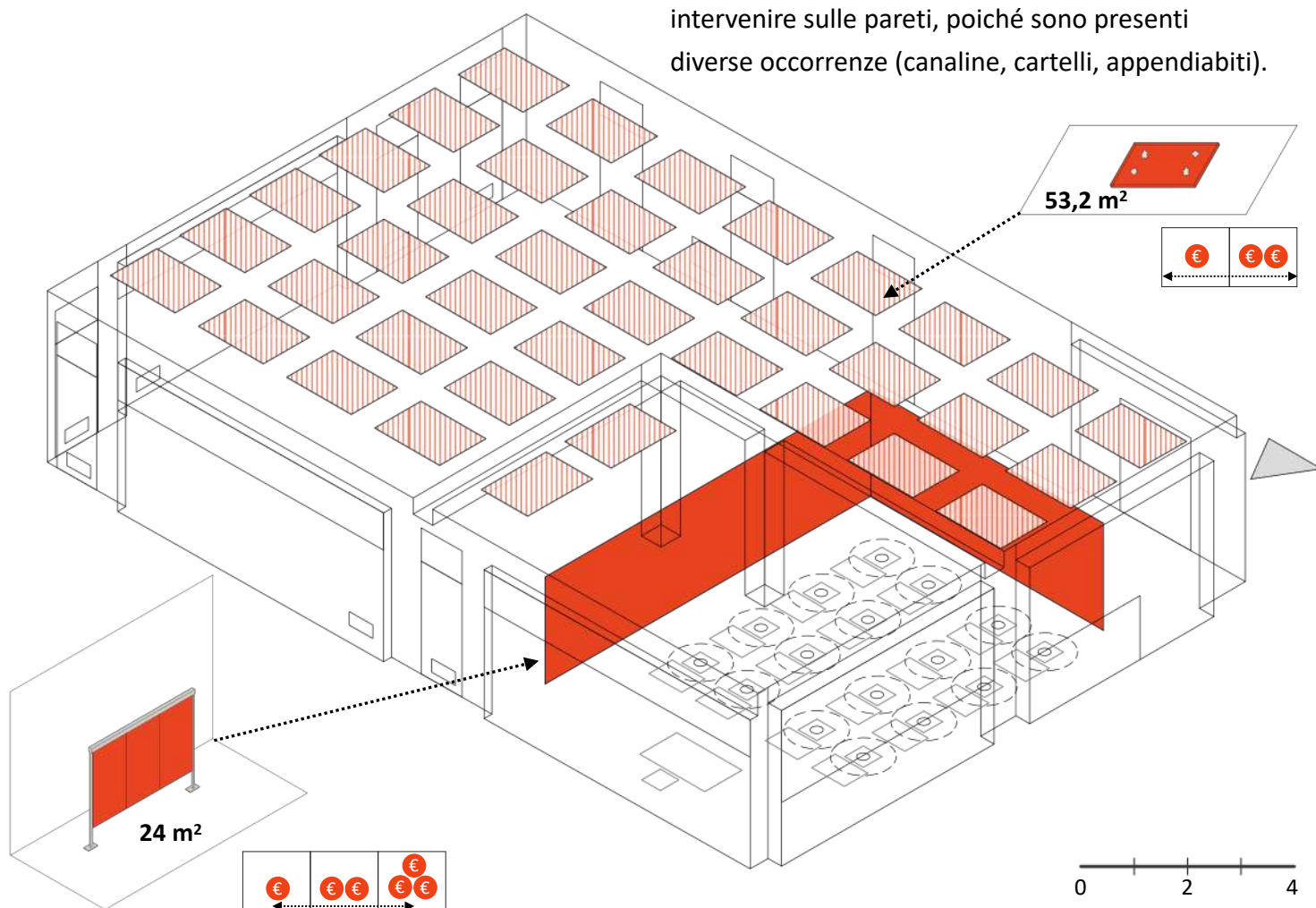




OPZIONE TRATTAMENTO ACUSTICO OTTIMALE

Poiché con il trattamento base l'ambiente risulta avere ancora un tempo di riverberazione superiore in tutte le frequenze a quello ottimale secondo UNI 11532-2:2020, è stata vagliata una soluzione alternativa, andando ad inserire pannelli fonoassorbenti distribuiti sul soffitto, lasciando solo una parte riflettente sopra la cattedra e sulle prime file di banchi.

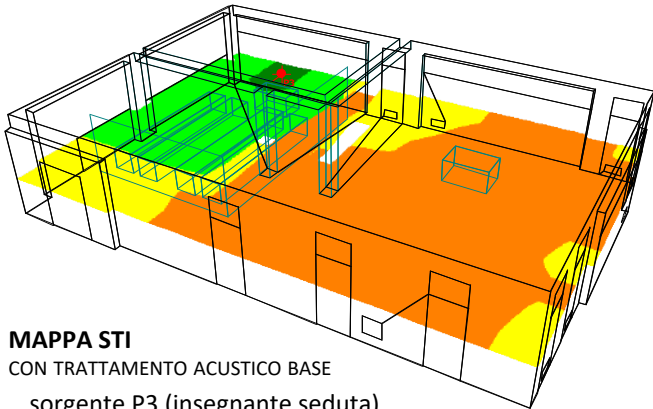
Si è deciso di provare a trattare il soffitto poiché l'ambiente non ha un'altezza eccessiva (soffitto facilmente raggiungibile) e per avere un trattamento il più distribuito possibile. Si è invece deciso di non intervenire sulle pareti, poiché sono presenti diverse occorrenze (canaline, cartelli, appendiabiti).



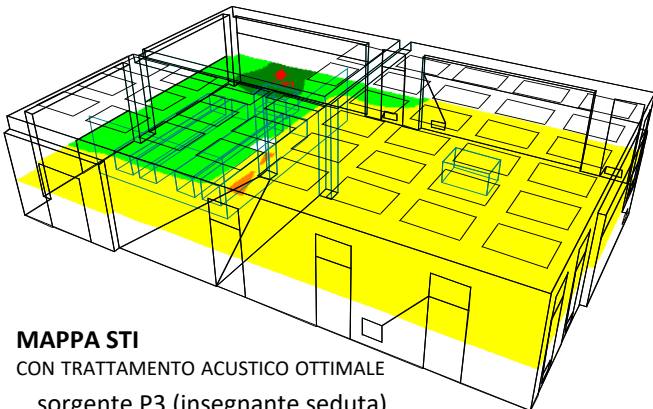
trattamento fonoassorbente e fonoisolante (BASE): realizzando un'aula temporanea in uno spazio aperto di passaggio, il trattamento deve essere posto intorno all'area occupata dagli alunni. In questo caso il trattamento è di circa **24 m²** e alto 2 m. Non è stato considerato un trattamento a tutta altezza per consentire a parte della luce esterna che proviene dalle finestre di illuminare, seppure parzialmente, l'area rimanente dell'atrio e trovare un compromesso tra l'utilizzo e un senso di eccessiva chiusura.

trattamento fonoassorbente OTTIMALE: in questa opzione sono stati valutati ulteriori **53,2 m²** di pannelli fonoassorbenti sul soffitto.

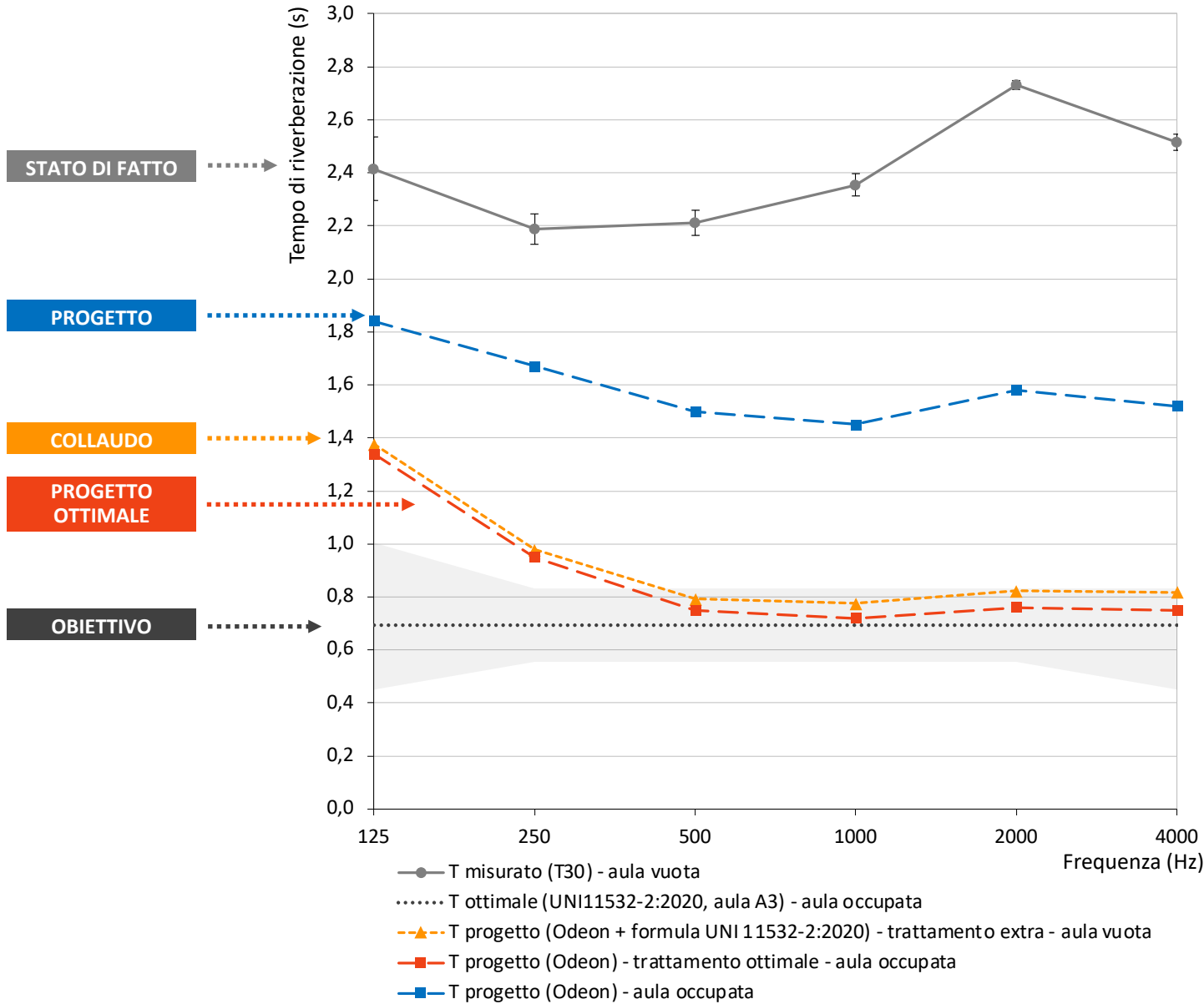
1. ANALISI GENERALE



MAPPA STI
CON TRATTAMENTO ACUSTICO BASE
_ sorgente P3 (insegnante seduta)
_ rumore di fondo NC30



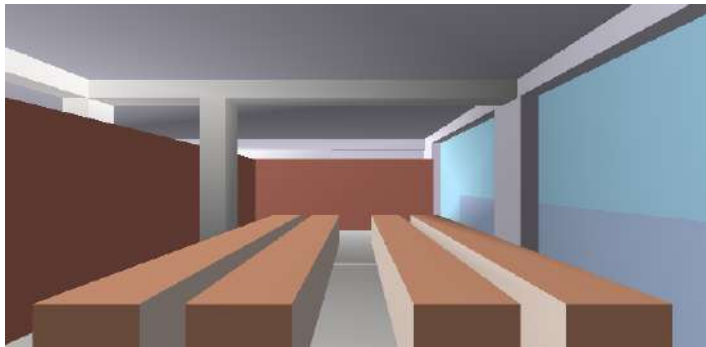
MAPPA STI
CON TRATTAMENTO ACUSTICO OTTIMALE
_ sorgente P3 (insegnante seduta)
_ rumore di fondo NC30



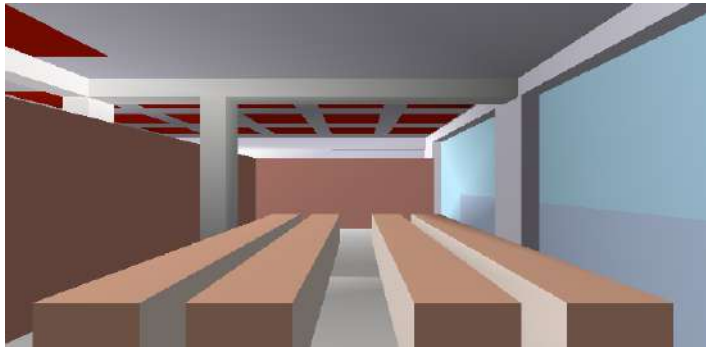
	Tempo di riverberazione, T (s)						T _m (250-500-1000-2000 Hz)
	125	250	500	1000	2000	4000	
T misurato (T ₃₀) - aula vuota	2,42	2,19	2,21	2,35	2,73	2,52	2,4
T ottimale (UNI11532-2:2020, aula A3) - aula occupata	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,7
T progetto (Odeon + formula UNI 11532-2:2020) - trattamento extra - aula vuota	1,38	0,98	0,79	0,78	0,82	0,82	0,8
T progetto (Odeon) - aula occupata	1,84	1,67	1,50	1,45	1,58	1,52	1,6
T progetto (Odeon) - trattamento ottimale - aula occupata	1,34	0,95	0,75	0,72	0,76	0,75	0,8



CON TRATTAMENTO ACUSTICO BASE



CON TRATTAMENTO ACUSTICO OTTIMALE



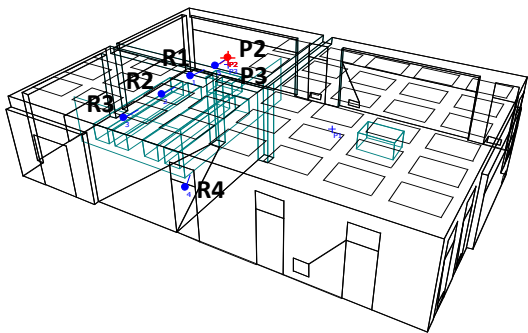
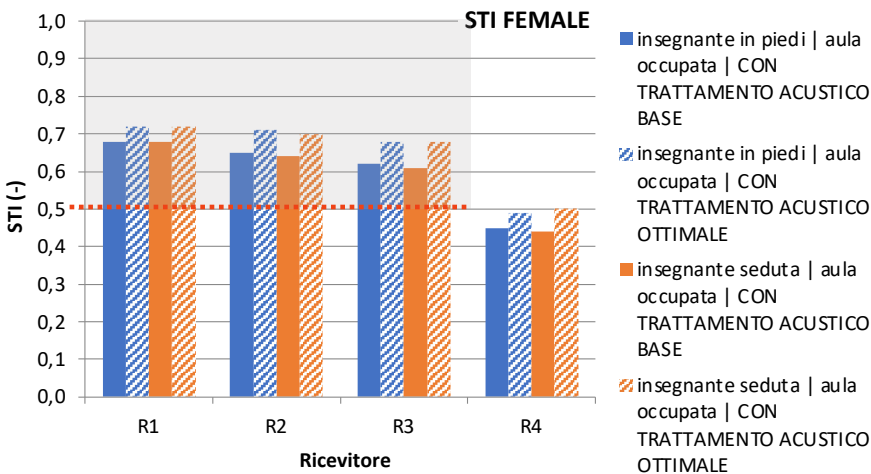
OBIETTIVO: $STI \geq 0,50$

RISULTATI: media dei valori in R1, R2 e R3. Il ricevitore in R4 non è stato considerato nella media poiché è fuori dallo spazio didattico: nella sua posizione il valore di STI può essere inferiore rispetto al valore obiettivo

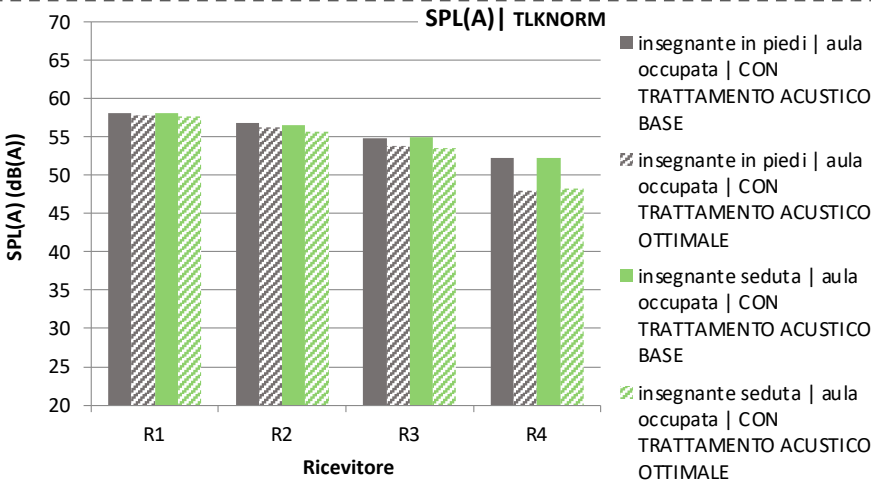
$STI (female)_{insegnante \text{ in piedi}} = 0,70$

$STI (female)_{insegnante \text{ seduta}} = 0,70$

..... obiettivo minimo intervallo di conformità



SORGENTI-RICEVITORI



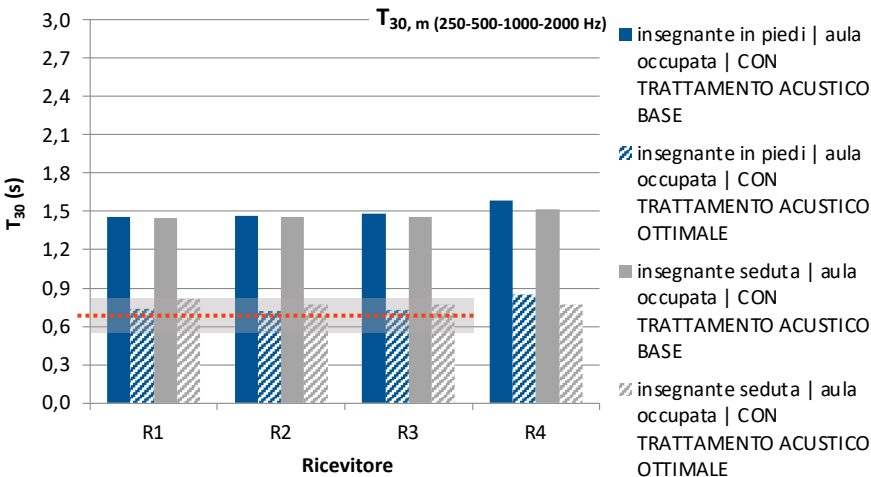
OBIETTIVO: $T_m (250-500-1000-2000 \text{ Hz}) = 0,7 \text{ s}$

RISULTATI: media dei valori in R1, R2 e R3. Il ricevitore in R4 non è stato considerato nella media poiché è fuori dallo spazio didattico: nella sua posizione il valore di tempo di riverberazione può essere superiore rispetto al valore obiettivo

$T_{30, m} (250-500-1000-2000 \text{ Hz}) = 0,7 \text{ s}$ (insegnante in piedi)

$T_{30, m} (250-500-1000-2000 \text{ Hz}) = 0,8 \text{ s}$ (insegnante seduta)

..... obiettivo intervallo di conformità



DETTAGLI

via Nizza 395, Torino
1929-1931 costruzione

DESCRIZIONE

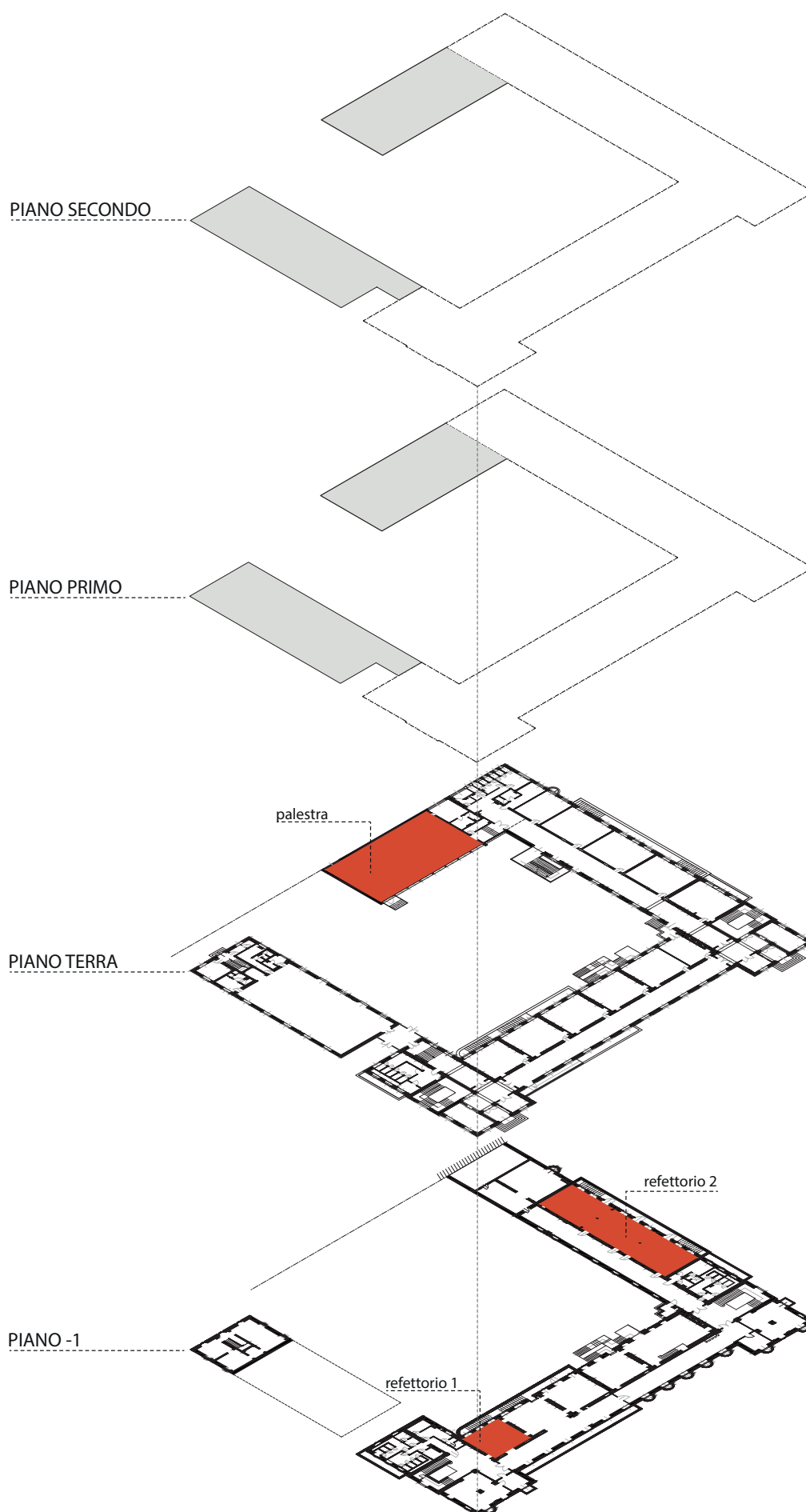
Questo edificio scolastico, inaugurato nel 1931 e ampliato nel 1940, subisce tre bombardamenti durante la II Guerra Mondiale e viene parzialmente ripristinato dal 1945.

Ha una succursale in via Ventimiglia (Beta Test 03). Negli anni Sessanta ha ospitato oltre 1.100 alunni. Attualmente è per lo più vuoto: un'ala non è agibile ed è utilizzato soltanto da una sezione. Si riscontra inoltre un elevato numero di alunni stranieri.

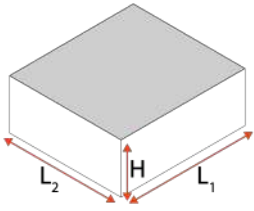
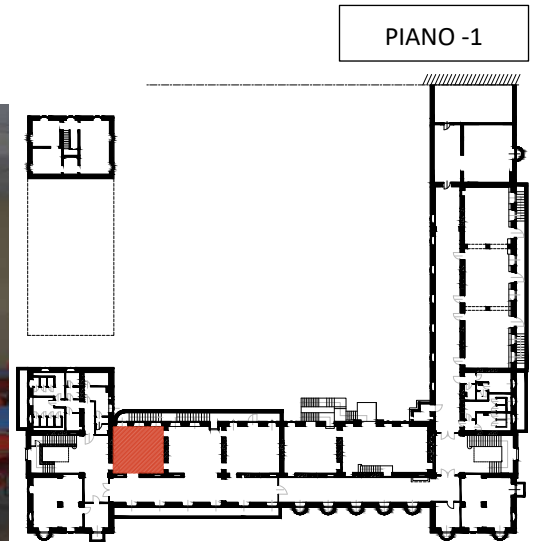
L'edificio, sullo stile della scuola Tommaseo, è in muratura mista, a tre piani fuori terra e un piano interrato e occupa quasi la totalità di un isolato.



Refettorio 1	135 m ³
Refettorio 2	499 m ³
Palestra	1.208 m ³

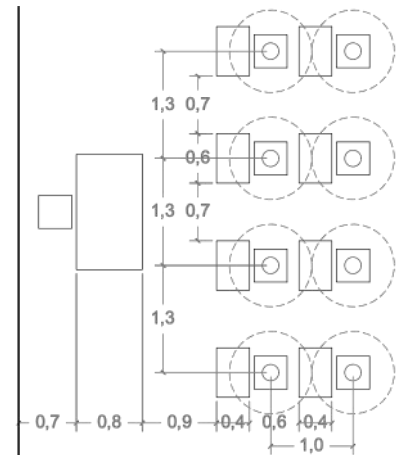


Beta Test 03 | REFETTORIO 1

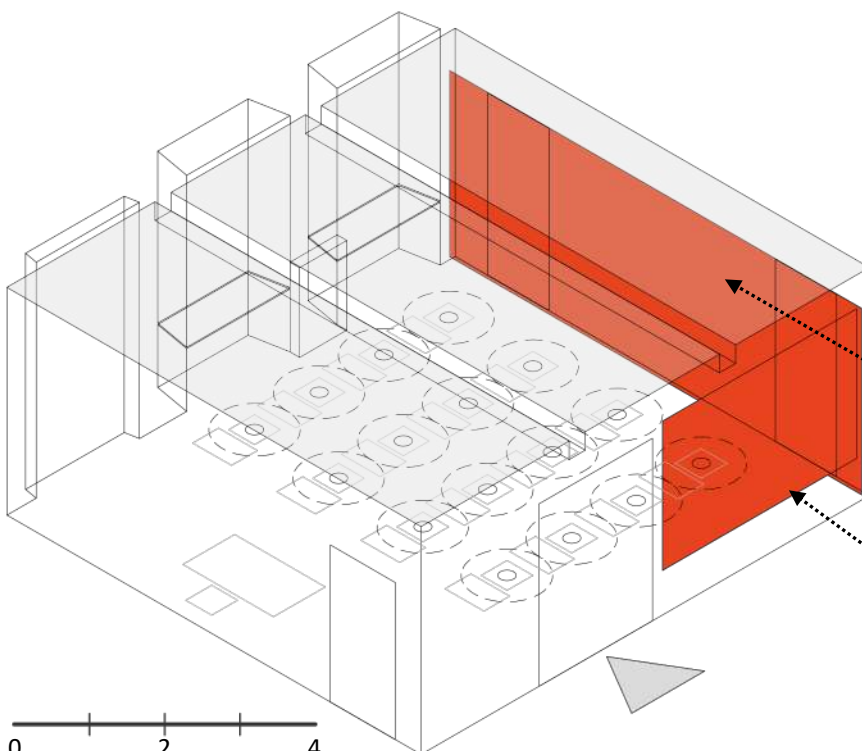

$$\begin{aligned} L_1 &= 6,9 \text{ m} \\ L_2 &= 6,4 \text{ m} \\ H &= 3,1 \text{ m} \\ A_{\text{pav}} &= 44 \text{ m}^2 \\ V &= 135 \text{ m}^3 \end{aligned}$$


soffitto mediamente fonoassorbente (già presente)

trattamento fonoassorbente e fonoisolante (**35%** circa della somma delle aree delle pareti laterali e della parete di fondo – **21,9 m²**)



DISPOSIZIONE BANCHI E CATTEDRA
inserimento di n.1 classe (16 alunni)



15,9 m²

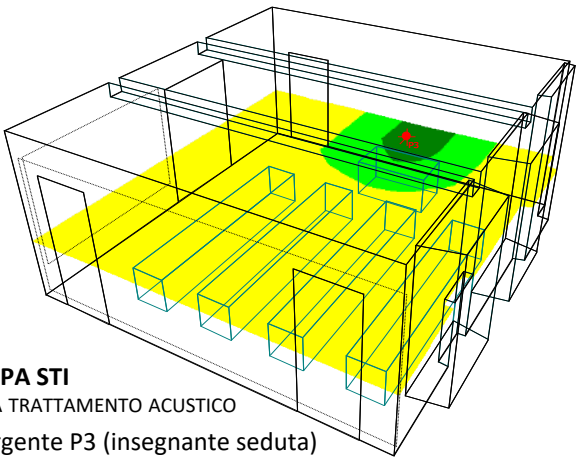
6 m²



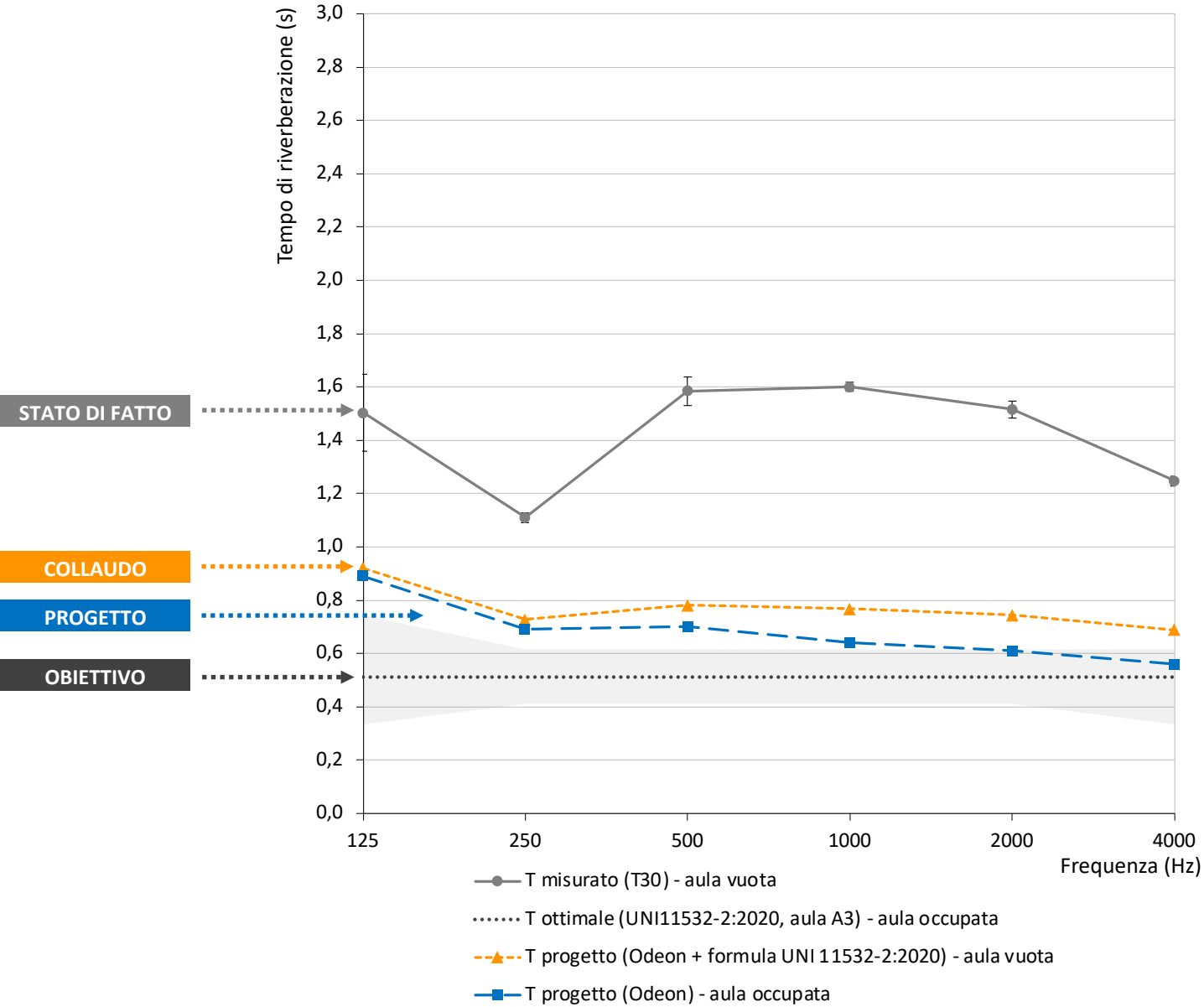
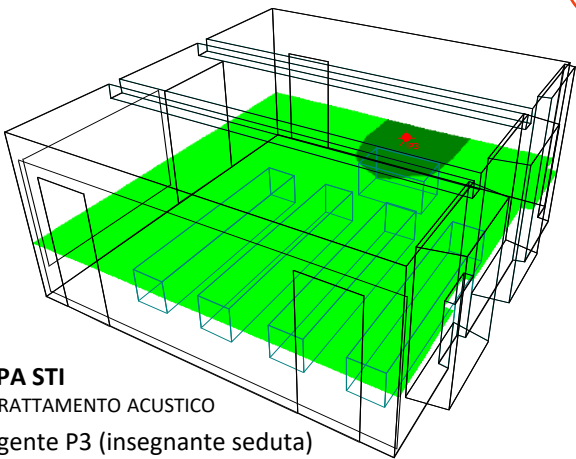
1. ANALISI GENERALE



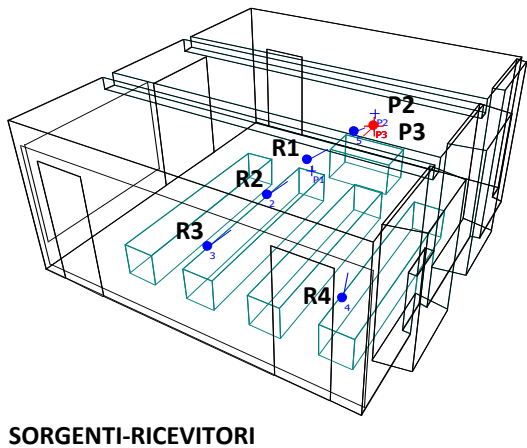
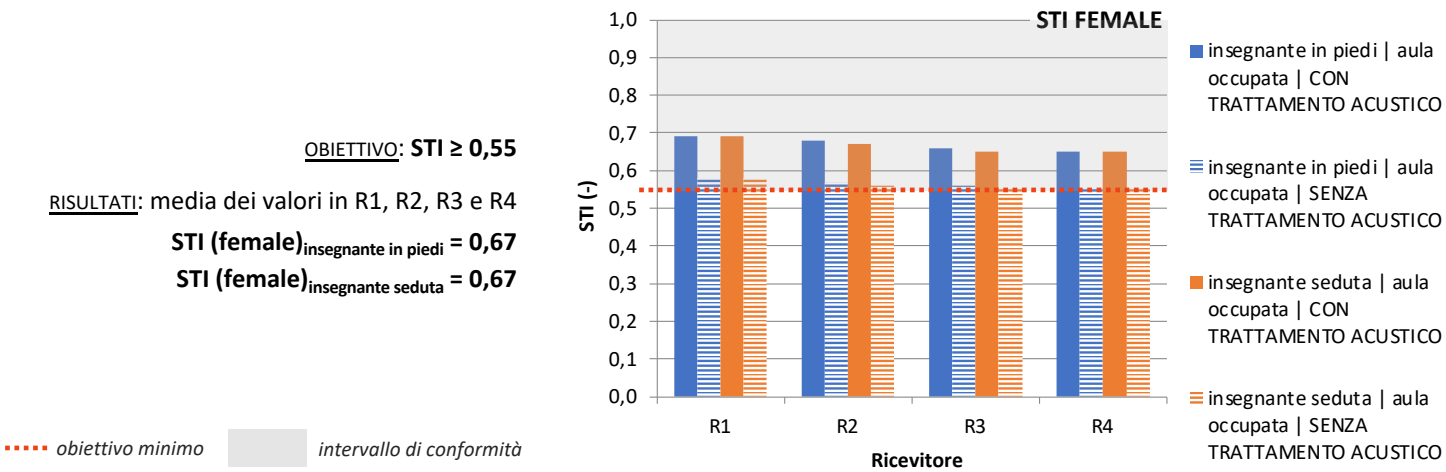
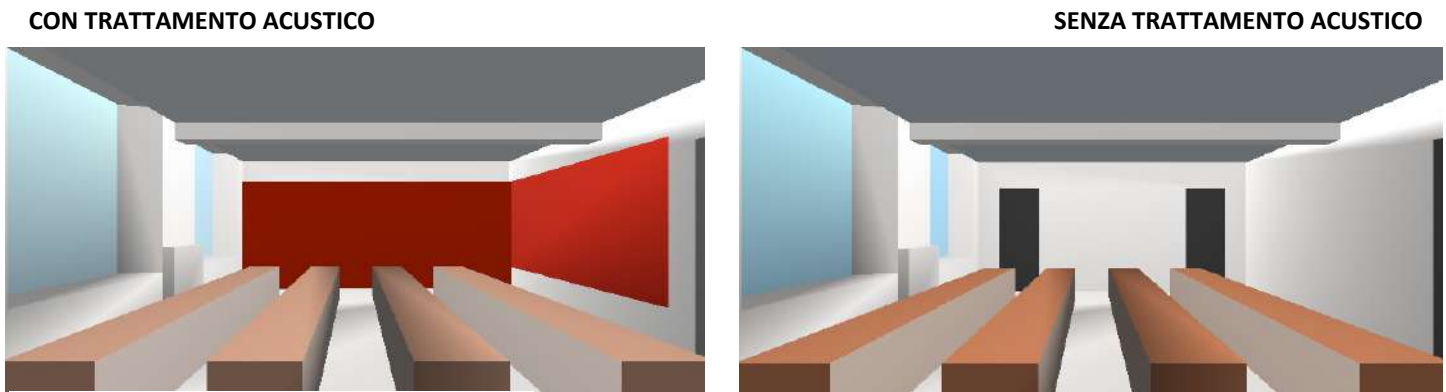
MAPPA STI
SENZA TRATTAMENTO ACUSTICO
_ sorgente P3 (insegnante seduta)
_ rumore di fondo NC30



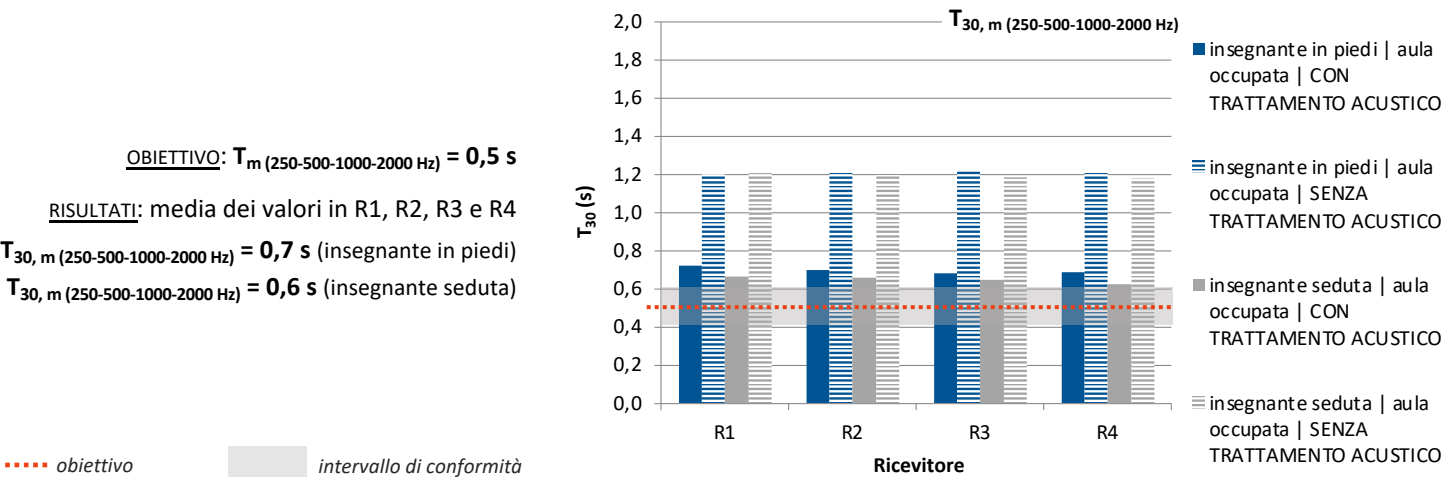
MAPPA STI
CON TRATTAMENTO ACUSTICO
_ sorgente P3 (insegnante seduta)
_ rumore di fondo NC30



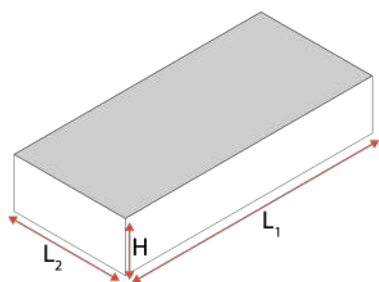
	Tempo di riverberazione, T (s)						T _m (250-500-1000-2000 Hz)
	125	250	500	1000	2000	4000	
T misurato (T ₃₀) - aula vuota	1,50	1,11	1,58	1,60	1,52	1,25	1,5
T ottimale (UNI11532-2:2020, aula A3) - aula occupata	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,5
T progetto (Odeon + formula UNI 11532-2:2020) - aula vuota	0,92	0,73	0,78	0,77	0,74	0,69	0,8
T progetto (Odeon) - aula occupata	0,89	0,69	0,70	0,64	0,61	0,56	0,7



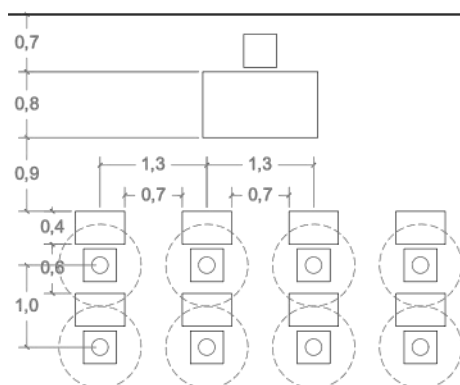
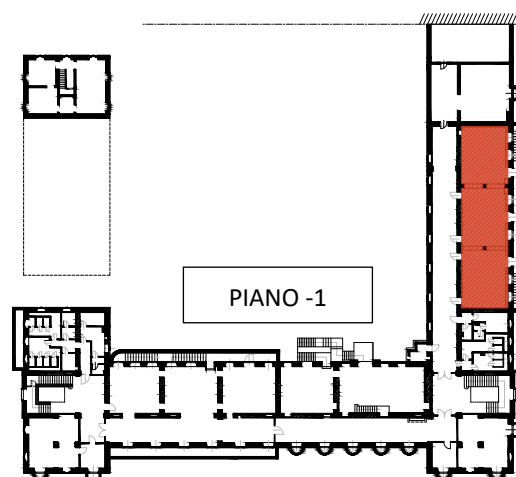
SORGENTI-RICEVITORI



Beta Test 03 | REFETTORIO 2



$L_1 = 24,8 \text{ m}$
 $L_2 = 6,3 \text{ m}$
 $H = 3,2 \text{ m}$
 $A_{\text{pav}} = 158 \text{ m}^2$
 $V = 499 \text{ m}^3$

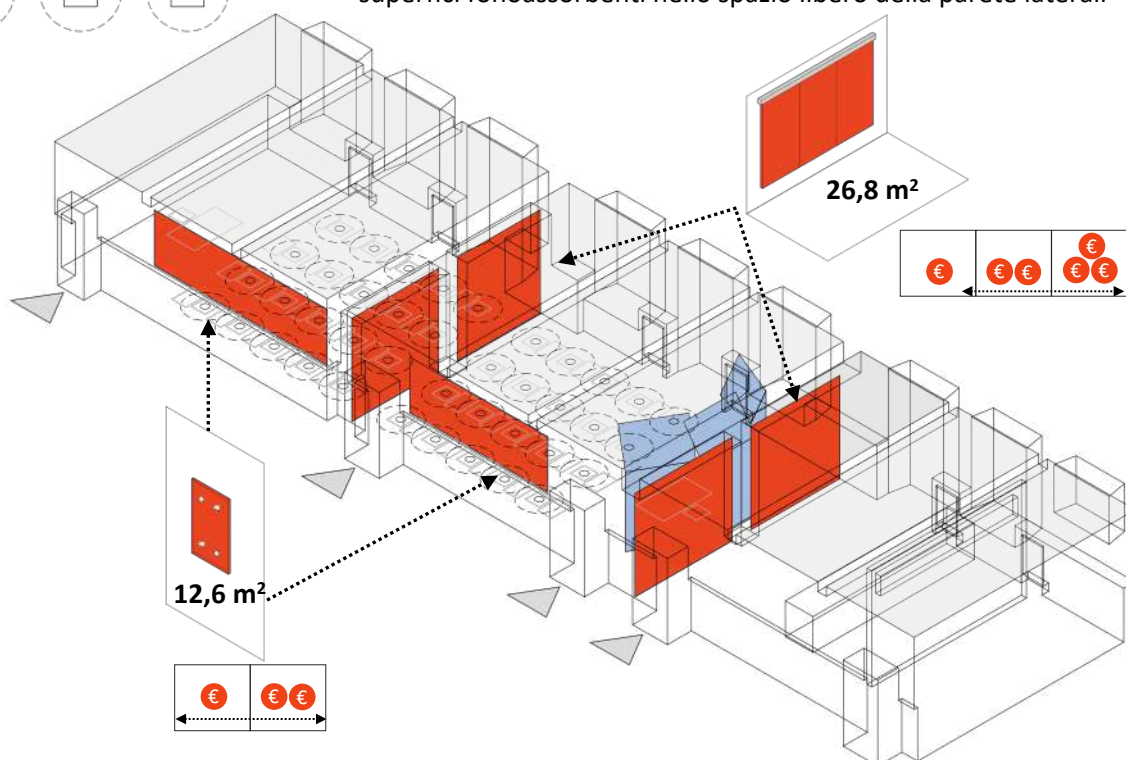


**DISPOSIZIONE
BANCHI E
CATTEDRA**
 inserimento di
 n.2 classi
 (20+20alunni)

conchiglia acustica

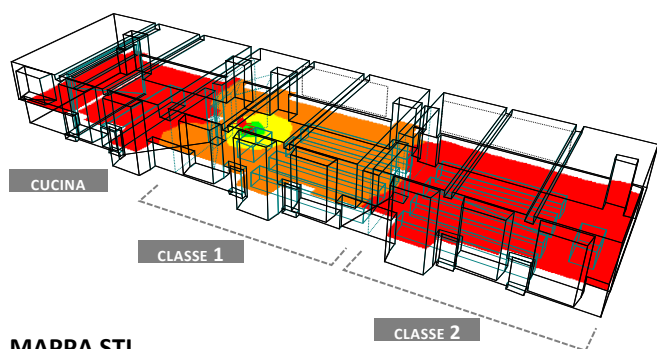
soffitto mediamente fonoassorbente (già presente)

trattamento fonoassorbente e fonoisolante: realizzando due aule temporanee in un unico spazio (ognuna delle quali ha un ingresso specifico), il trattamento deve essere a tutta altezza per realizzare due ambienti separati e diminuire il più possibile la trasmissione delle voci dall'uno all'altro. Il trattamento è stato inserito a tutta altezza anche dietro l'area dell'insegnante per delimitare lo spazio e ridurre il volume, che comunque non sarebbe utilizzato. Inoltre, sono state inserite delle superfici fonoassorbenti nello spazio libero della parete laterali



0 2 4

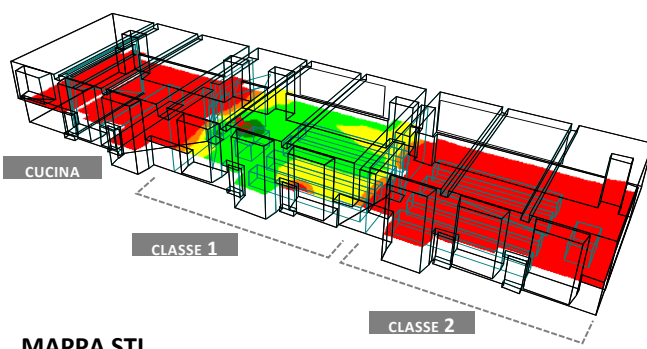
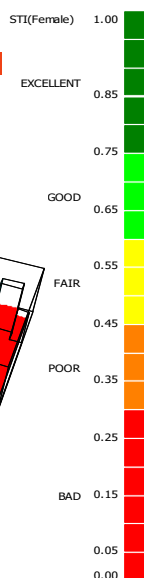
1. ANALISI GENERALE



MAPPA STI

SENZA TRATTAMENTO ACUSTICO

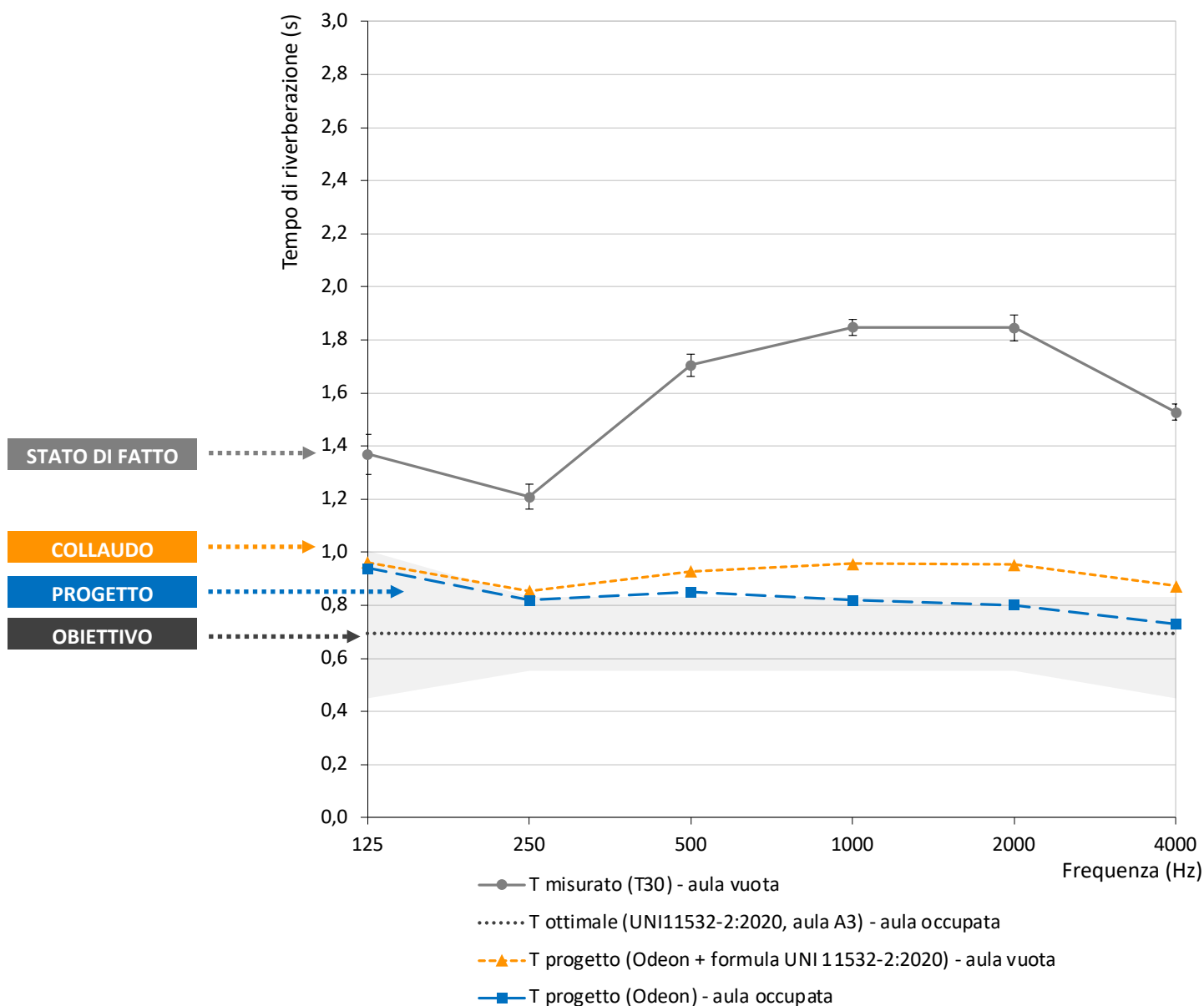
- _ sorgente P3 (insegnante seduta) nella classe 1
- _ rumore di fondo NC45 (2 classi in compresenza)



MAPPA STI

CON TRATTAMENTO ACUSTICO

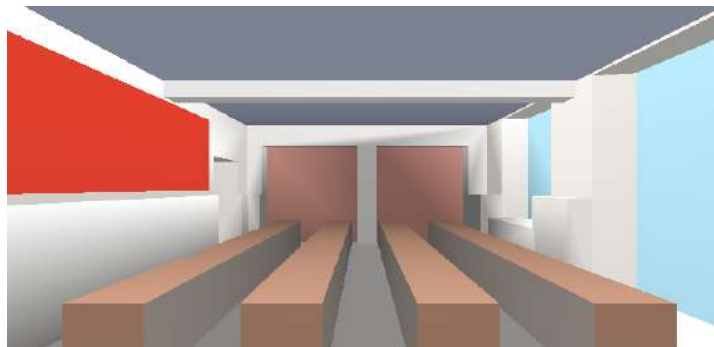
- _ sorgente P3 (insegnante seduta) nella classe 1
- _ rumore di fondo NC35 (2 classi in compresenza)



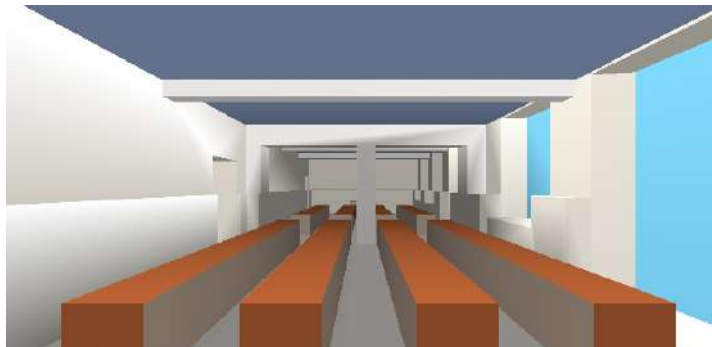
	Tempo di riverberazione, T (s)						T _m (250-500-1000-2000 Hz)
	125	250	500	1000	2000	4000	
T misurato (T ₃₀) - aula vuota	1,37	1,21	1,71	1,85	1,85	1,53	1,7
T ottimale (UNI11532-2:2020, aula A3) - aula occupata	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,7
T progetto (Odeon + formula UNI 11532-2:2020) - aula vuota	0,96	0,86	0,93	0,96	0,95	0,87	0,9
T progetto (Odeon) - aula occupata	0,94	0,82	0,85	0,82	0,80	0,73	0,8



CON TRATTAMENTO ACUSTICO



SENZA TRATTAMENTO ACUSTICO



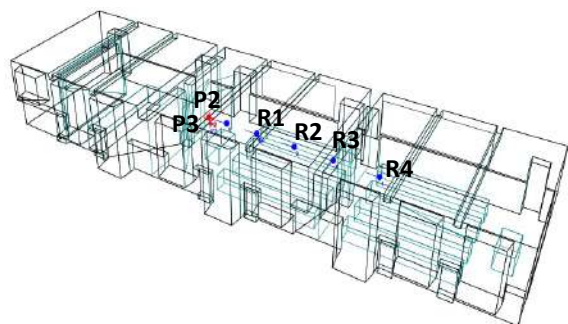
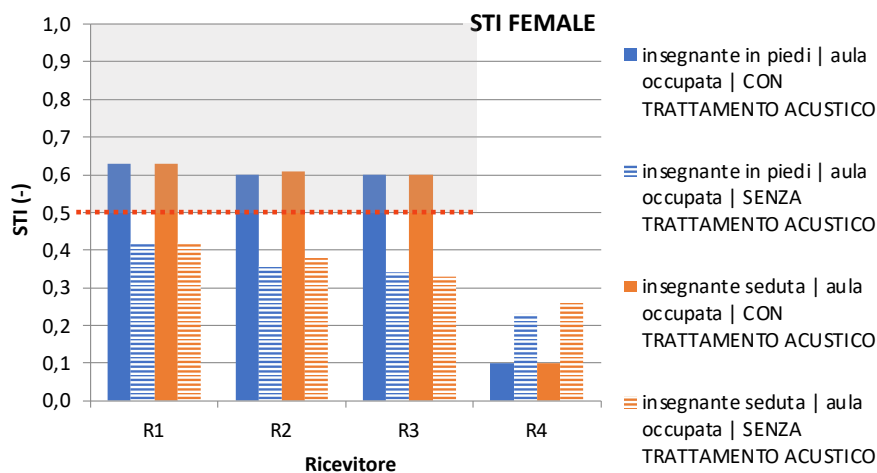
OBIETTIVO: $STI \geq 0,50$

RISULTATI: media dei valori in R1, R2 e R3. Il ricevitore in R4 non è stato considerato nella media poiché è in un altro spazio didattico: nella sua posizione il valore di STI deve essere inferiore rispetto al valore obiettivo

$STI (female)_{insegnante \text{ in piedi}} = 0,61$

$STI (female)_{insegnante \text{ seduta}} = 0,61$

..... obiettivo minimo intervallo di conformità



SORGENTI-RICEVITORI

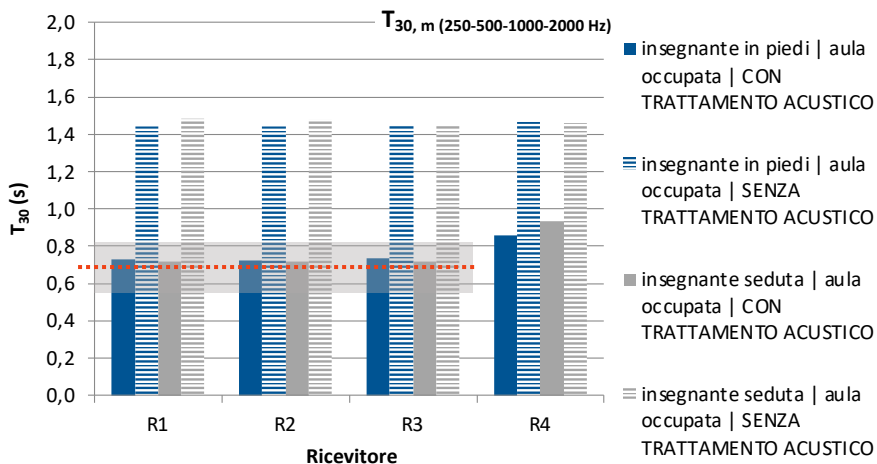
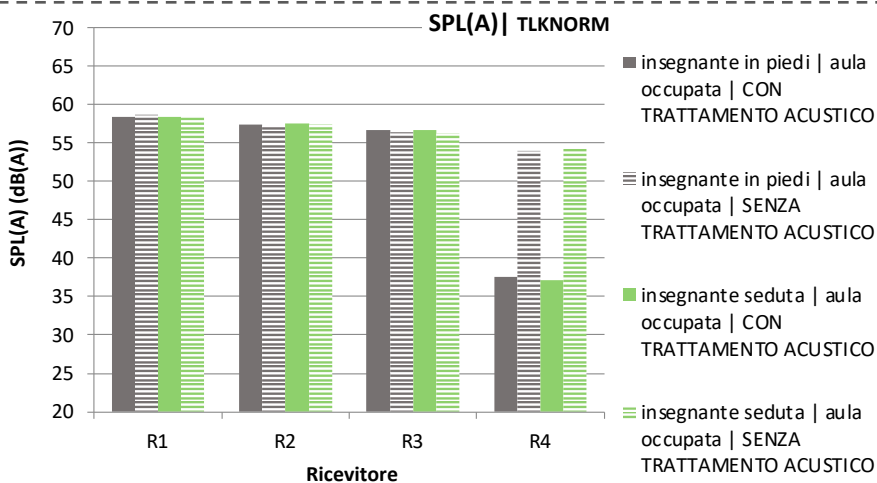
OBIETTIVO: $T_{30, m} (250-500-1000-2000 \text{ Hz}) = 0,7 \text{ s}$

RISULTATI: media dei valori in R1, R2 e R3. Il ricevitore in R4 non è stato considerato nella media poiché è in un altro spazio didattico: nella sua posizione il valore di tempo di riverberazione può essere superiore rispetto al valore obiettivo (usando come sorgente l'insegnante nello spazio didattico studiato)

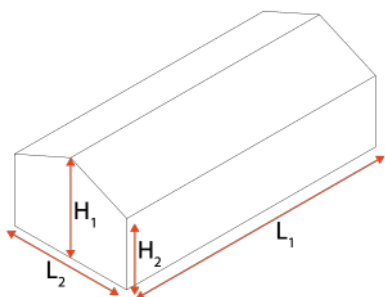
$T_{30, m} (250-500-1000-2000 \text{ Hz}) = 0,7 \text{ s}$ (insegnante in piedi)

$T_{30, m} (250-500-1000-2000 \text{ Hz}) = 0,7 \text{ s}$ (insegnante seduta)

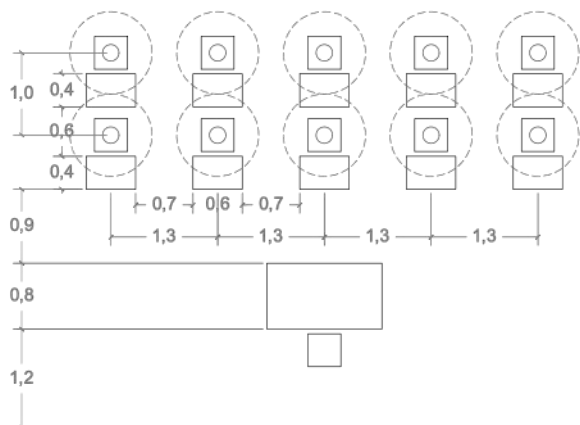
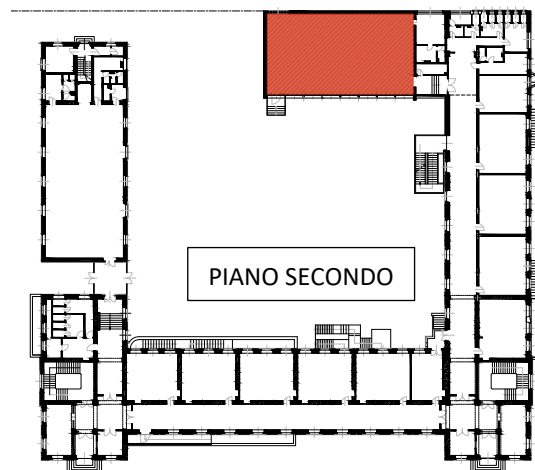
..... obiettivo intervallo di conformità



Beta Test 03 | PALESTRA



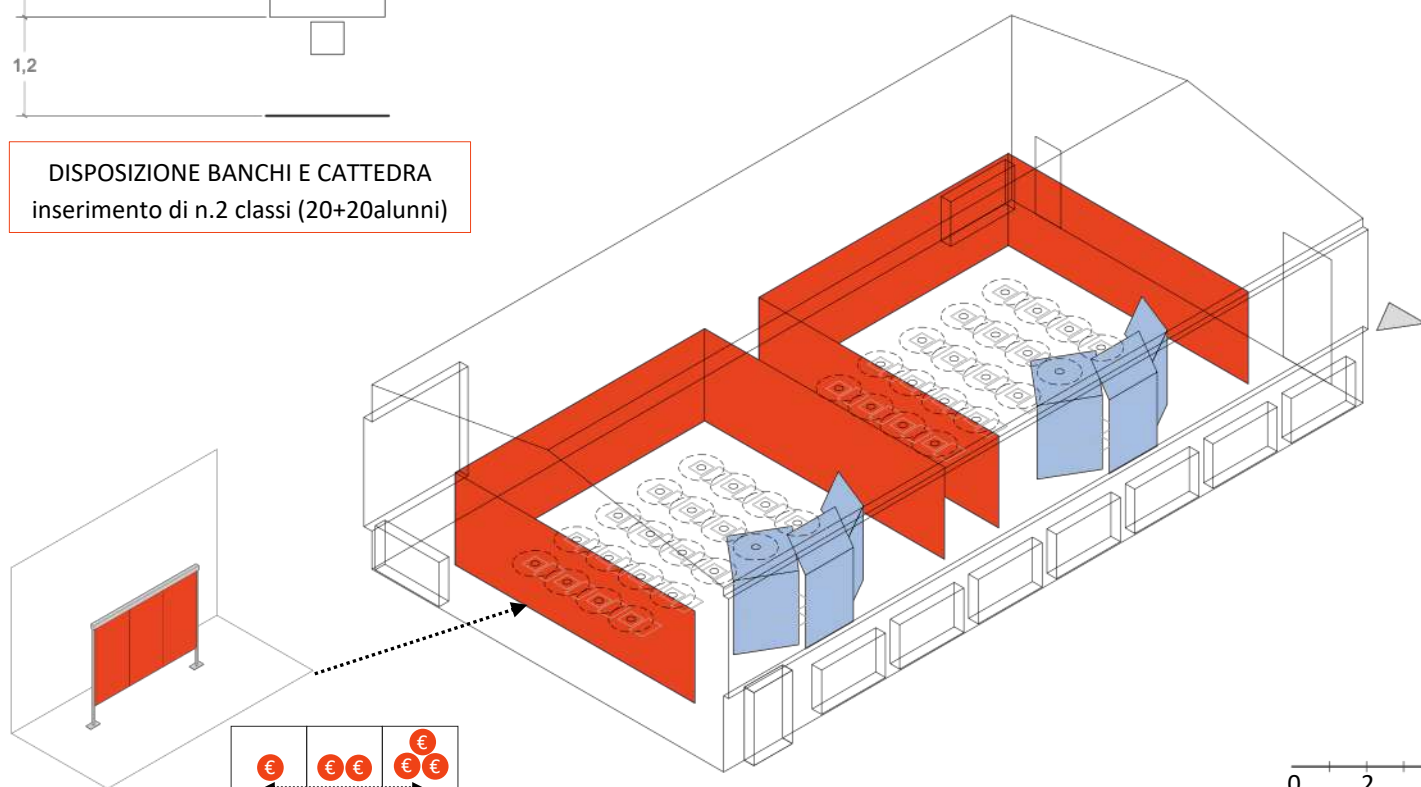
$L_1 = 20,0 \text{ m}$
 $L_2 = 11,0 \text{ m}$
 $H_1 = 6,0 \text{ m}$
 $H_2 = 5,0 \text{ m}$
 $A_{pav} = 220 \text{ m}^2$
 $V = 1.208 \text{ m}^3$



DISPOSIZIONE BANCHI E CATTEDRA
inserimento di n.2 classi (20+20alunni)

conchiglia acustica

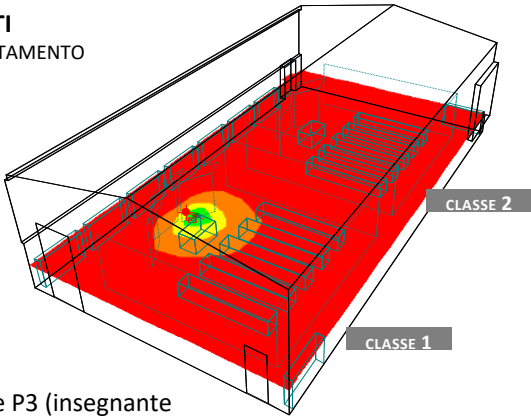
trattamento fonoassorbente e fonoisolante: realizzando due aule temporanee in un unico spazio, il trattamento deve essere posto intorno all'area occupata dagli alunni, lasciando solo lo spazio necessario per l'entrata e l'uscita. In questo caso il trattamento è di circa **123 m²**.



0 2 4

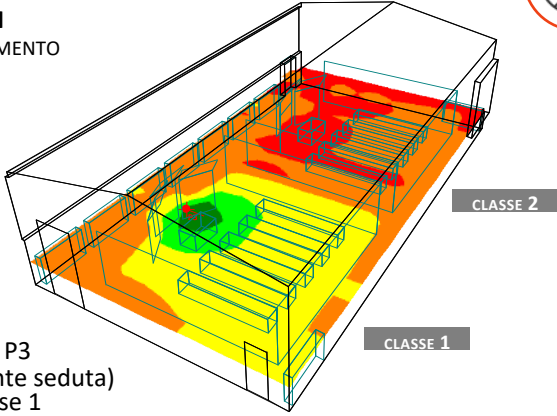
1. ANALISI GENERALE

MAPPA STI
SENZA TRATTAMENTO
ACUSTICO

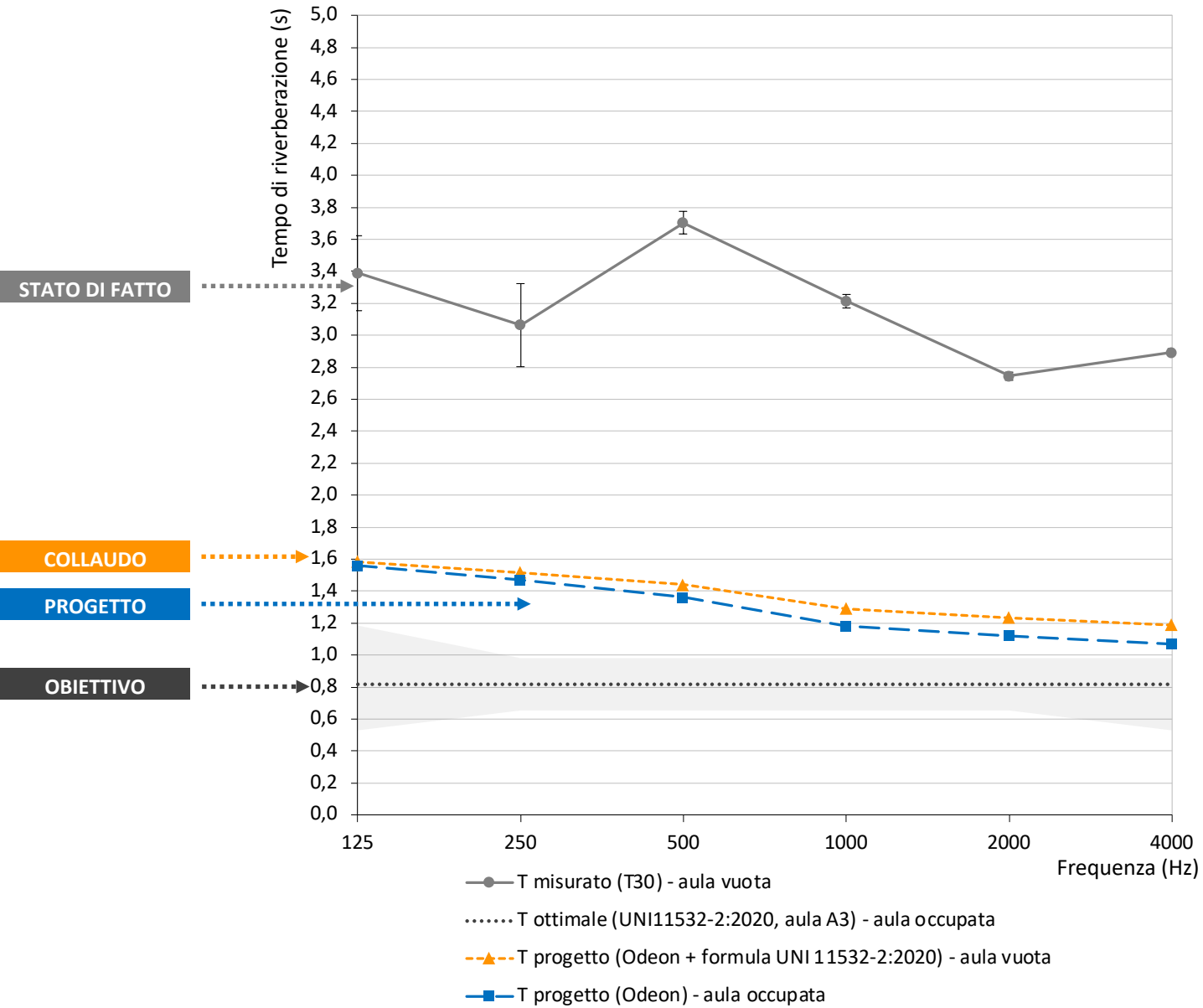


- _ sorgente P3 (insegnante seduta) nella classe 1
- _ rumore di fondo NC45 (2 classi in compresenza)

MAPPA STI
CON TRATTAMENTO
ACUSTICO



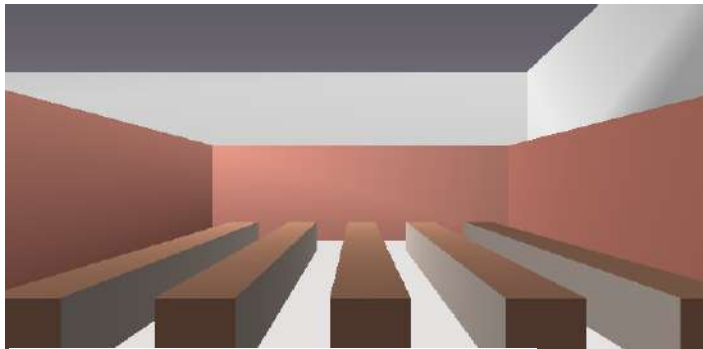
- _ sorgente P3 (insegnante seduta) nella classe 1
- _ rumore di fondo NC35 (2 classi in compresenza)



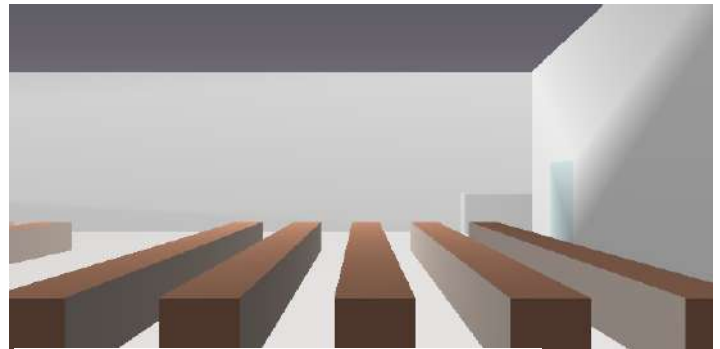
	Tempo di riverberazione, T (s)						T _m (250-500-1000-2000 Hz)
	125	250	500	1000	2000	4000	
T misurato (T ₃₀) - aula vuota	3,39	3,07	3,70	3,21	2,74	2,89	3,2
T ottimale (UNI11532-2:2020, aula A3) - aula occupata	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,8
T progetto (Odeon + formula UNI 11532-2:2020) - aula vuota	1,59	1,52	1,44	1,29	1,23	1,19	1,4
T progetto (Odeon) - aula occupata	1,56	1,47	1,36	1,18	1,12	1,07	1,3



CON TRATTAMENTO ACUSTICO



SENZA TRATTAMENTO ACUSTICO



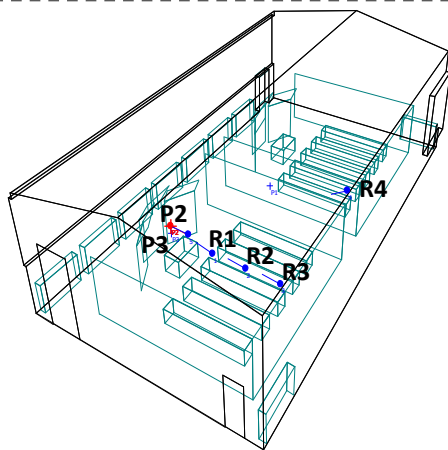
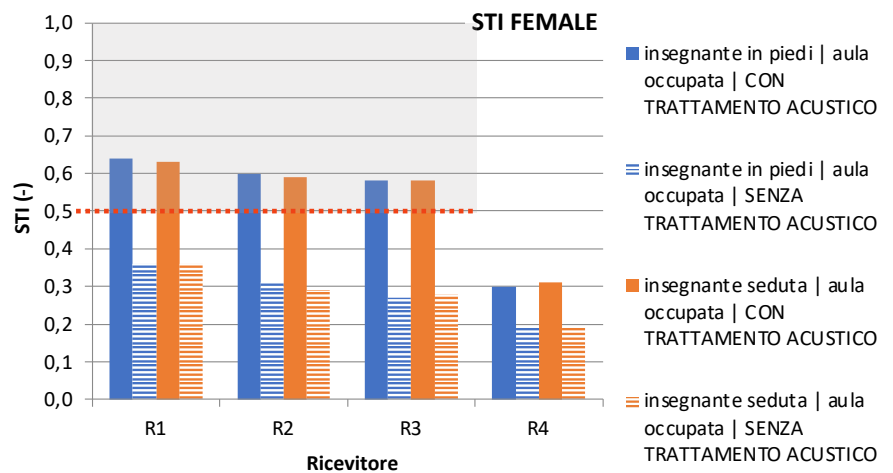
OBIETTIVO: $STI \geq 0,50$

RISULTATI: media dei valori in R1, R2 e R3. Il ricevitore in R4 non è stato considerato nella media poiché è in un altro spazio didattico: nella sua posizione il valore di STI deve essere inferiore rispetto al valore obiettivo

$STI (female)_{insegnante \text{ in piedi}} = 0,61$

$STI (female)_{insegnante \text{ seduta}} = 0,60$

..... obiettivo minimo intervallo di conformità



SORGENTI-RICEVITORI

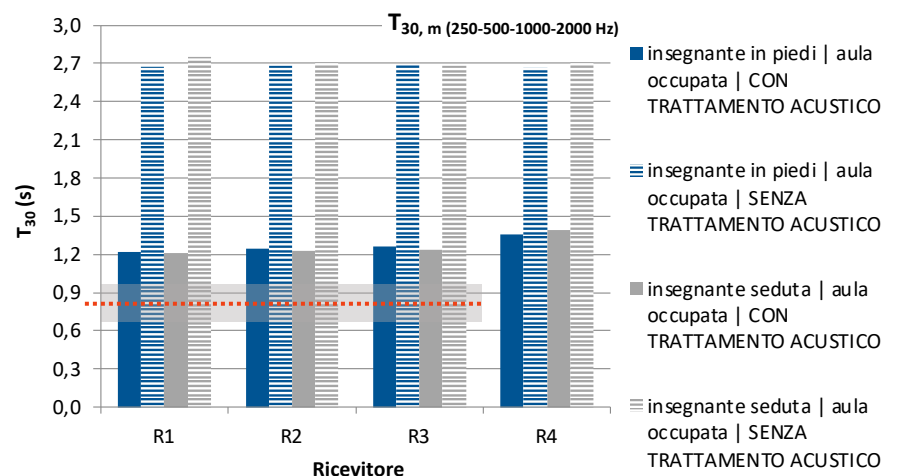
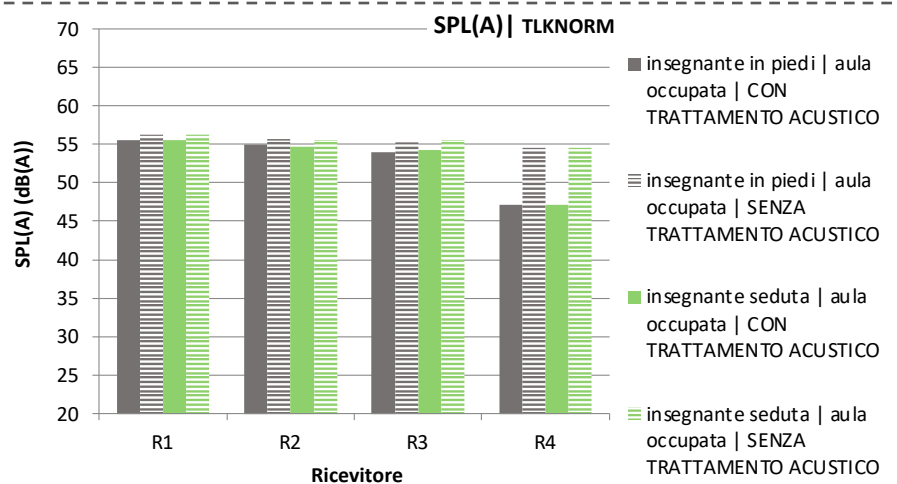
OBIETTIVO: $T_m (250-500-1000-2000 \text{ Hz}) = 0,8 \text{ s}$

RISULTATI: media dei valori in R1, R2 e R3. Il ricevitore in R4 non è stato considerato nella media poiché è in un altro spazio didattico: nella sua posizione il valore di tempo di riverberazione può essere superiore rispetto al valore obiettivo (usando come sorgente l'insegnante nello spazio didattico studiato)

$T_{30, m} (250-500-1000-2000 \text{ Hz}) = 1,2 \text{ s}$ (insegnante in piedi)

$T_{30, m} (250-500-1000-2000 \text{ Hz}) = 1,2 \text{ s}$ (insegnante seduta)

..... obiettivo intervallo di conformità



DETTAGLI

via Ventimiglia 128, Torino
1971 costruzione

DESCRIZIONE

Edificio di tre piani in mattoni e struttura in calcestruzzo armato, alla fine degli anni Settanta accoglieva oltre 600 alunni che occupavano tutte le 25 aule a disposizione della struttura.
La scuola dispone di una sala medica, uno spazio biblioteca lettura, un refettorio, una palestra, 16 aule, una sala teatro con capienza di 99 posti a disposizione anche delle famiglie, ampi spazi esterni
Ha una succursale in via Nizza (Beta Test 03).

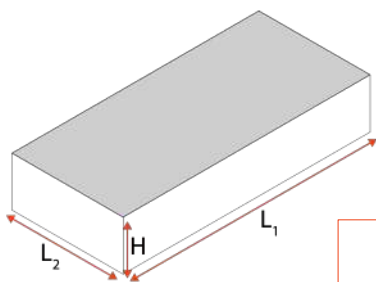


Aula informatica	257 m ³
Sala lettura	193 m ³
Atrio 1*	269 m ³
Atrio 2*	293 m ³
Atrio 3*	225 m ³
Palestra	2.018 m ³
Teatro	990 m ³
Refettorio	832 m ³

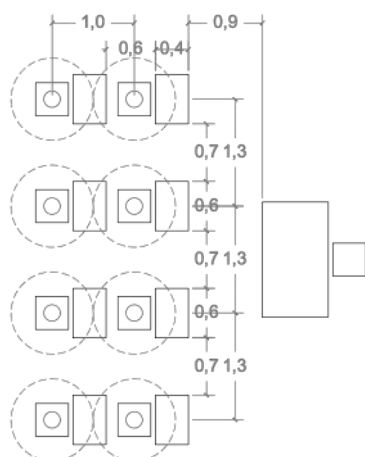
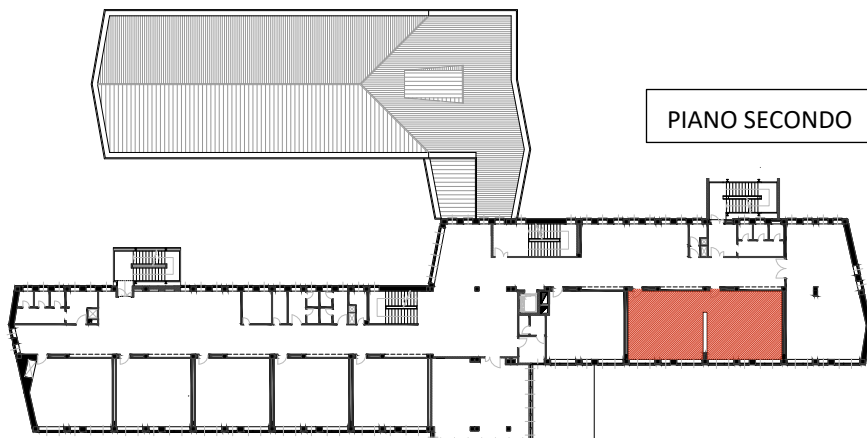
** il volume è approssimativo: trattandosi di ambienti aperti sono state stimate delle ipotetiche pareti di chiusura, considerate fonoassorbenti all'80%, per la realizzazione del modello di simulazione acustica. Il volume è quindi superiore rispetto allo spazio di effettivo utilizzo per l'ambiente didattico temporaneo*



Beta Test 04 | AULA INFORMATICA



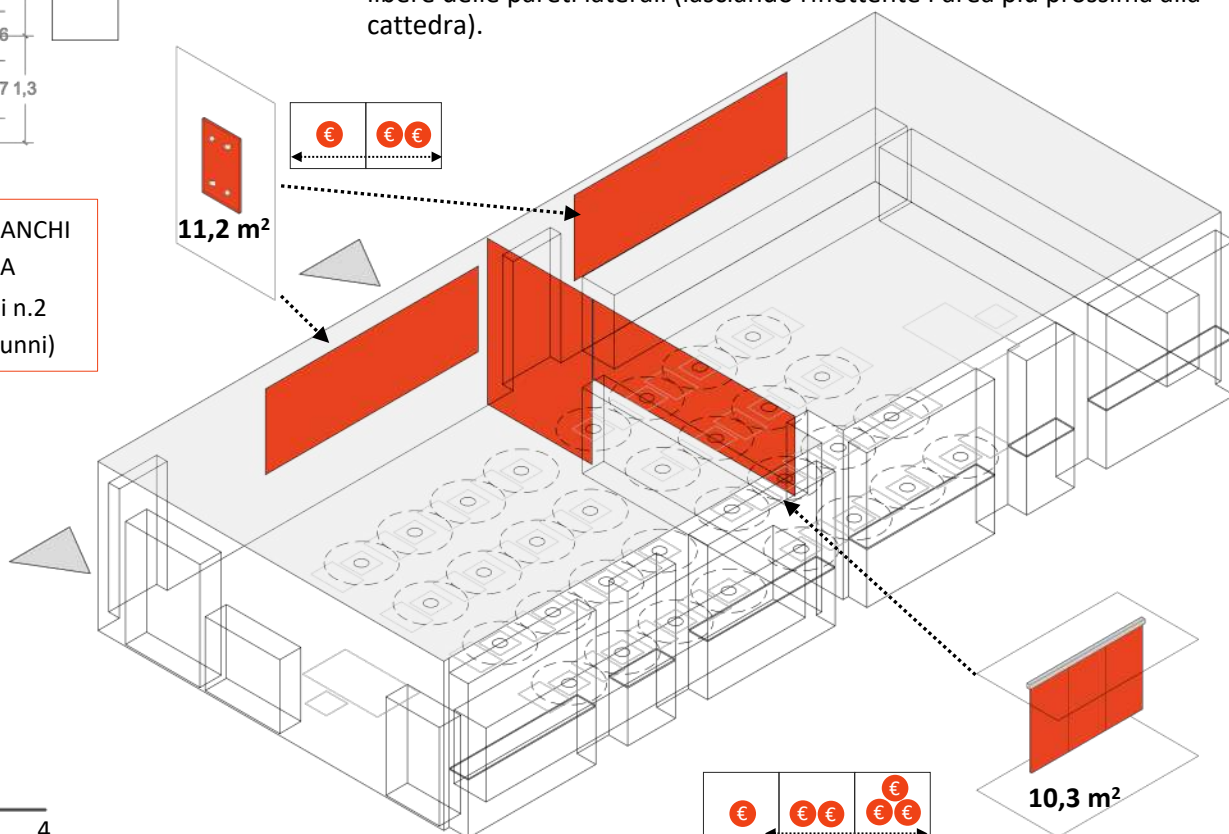
$L_1 = 14,6 \text{ m}$
 $L_2 = 6,5 \text{ m}$
 $H = 2,8 \text{ m}$
 $A_{\text{pav}} = 93 \text{ m}^2$
 $V = 257 \text{ m}^3$



**DISPOSIZIONE BANCHI
E CATTEDRA**
 inserimento di n.2
 classi (16+16alunni)

soffitto mediamente fonoassorbente (già presente)

trattamento fonoassorbente e fonoisolante: realizzando due aule temporanee in un unico spazio (ognuna delle quali ha un ingresso specifico), il trattamento deve essere a tutta altezza per realizzare due ambienti separati e diminuire il più possibile la trasmissione delle voci dall'uno all'altro. Per portare il tempo di riverberazione ai valori ottimali, sono state inserite delle superfici fonoassorbenti nelle parti libere delle pareti laterali (lasciando riflettente l'area più prossima alla cattedra).



0 2 4

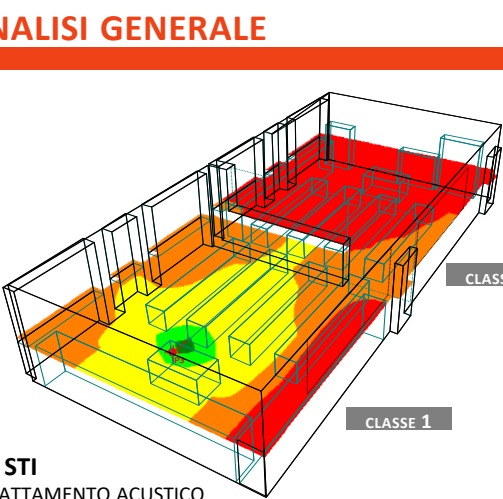
1. ANALISI GENERALE



MAPPA STI

SENZA TRATTAMENTO ACUSTICO

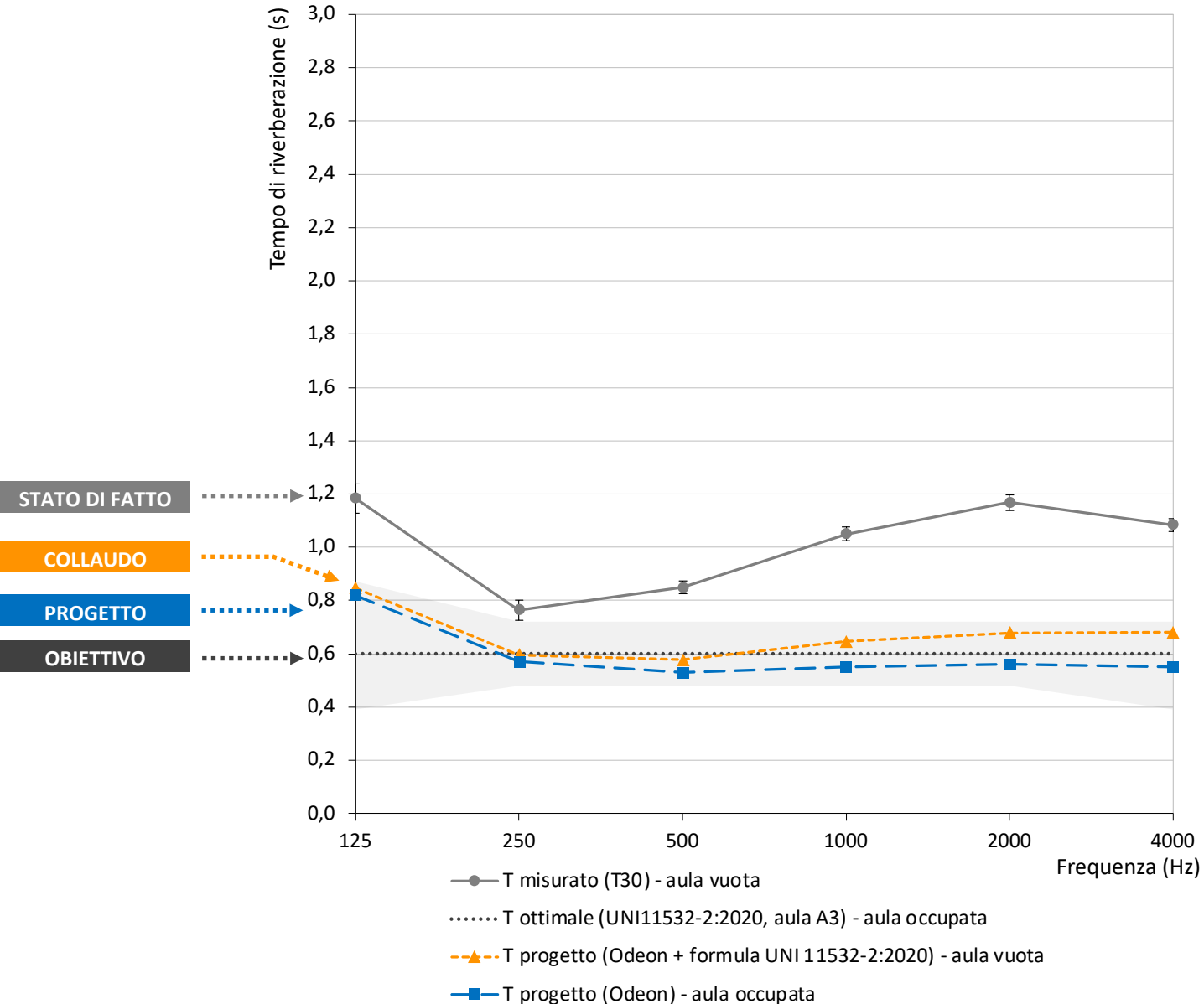
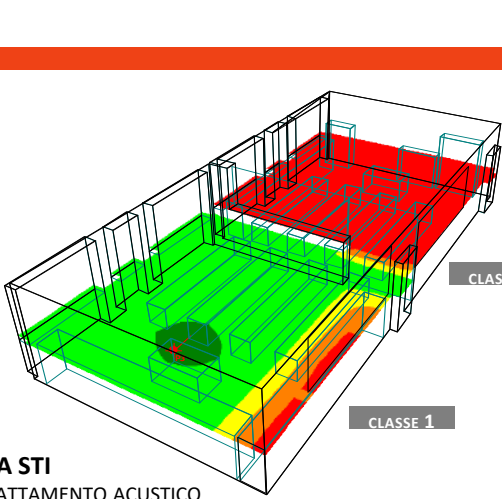
_ sorgente P3 (insegnante seduta) nella classe 1
_ rumore di fondo NC45 (2 classi in compresenza)



MAPPA STI

CON TRATTAMENTO ACUSTICO

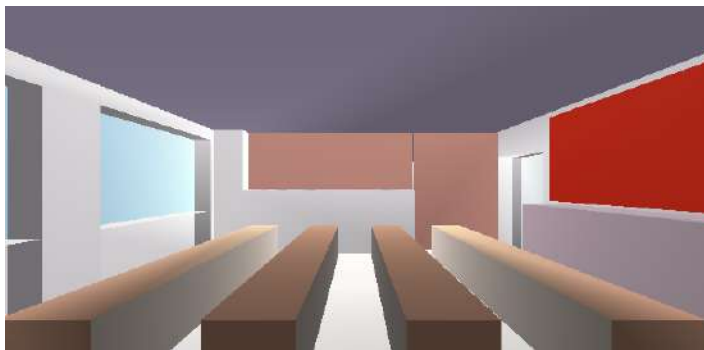
_ sorgente P3 (insegnante seduta) nella classe 1
_ rumore di fondo NC35 (2 classi in compresenza)



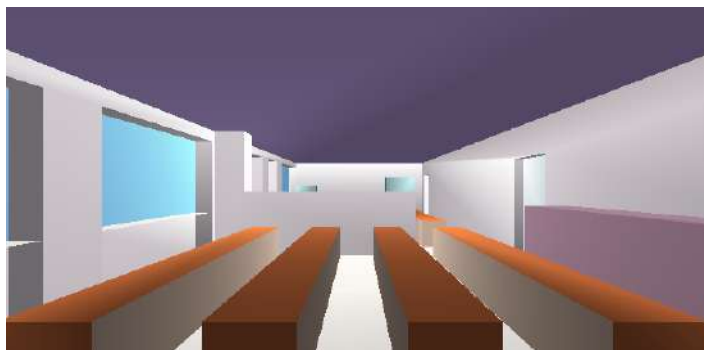
	Tempo di riverberazione, T (s)						T _m (250-500-1000-2000 Hz)
	125	250	500	1000	2000	4000	
T misurato (T ₃₀) - aula vuota	1,18	0,77	0,85	1,05	1,17	1,08	1,0
T ottimale (UNI11532-2:2020, aula A3) - aula occupata	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,6
T progetto (Odeon + formula UNI 11532-2:2020) - aula vuota	0,85	0,60	0,58	0,65	0,68	0,68	0,6
T progetto (Odeon) - aula occupata	0,82	0,57	0,53	0,55	0,56	0,55	0,6



CON TRATTAMENTO ACUSTICO



SENZA TRATTAMENTO ACUSTICO

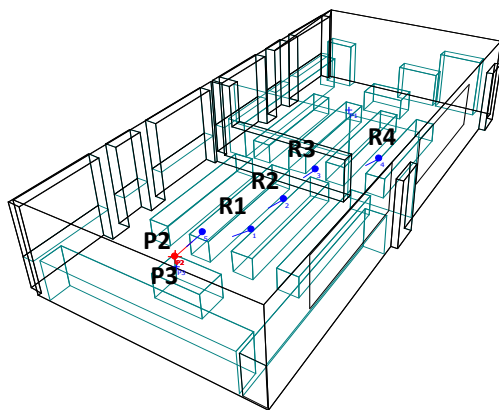
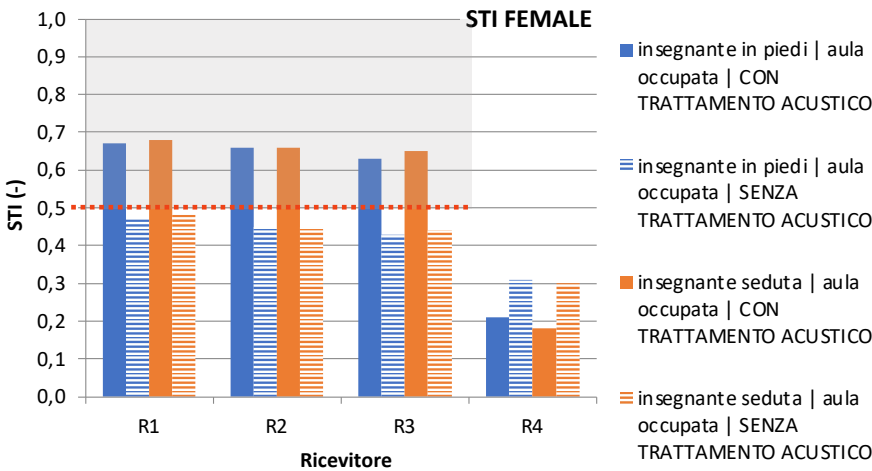


OBIETTIVO: $STI \geq 0,50$

RISULTATI: media dei valori in R1, R2 e R3. Il ricevitore in R4 non è stato considerato nella media poiché è in un altro spazio didattico: nella sua posizione il valore di STI deve essere inferiore rispetto al valore obiettivo

$STI (female)_{insegnante \text{ in piedi}} = 0,65$
 $STI (female)_{insegnante \text{ seduta}} = 0,66$

..... obiettivo minimo intervallo di conformità



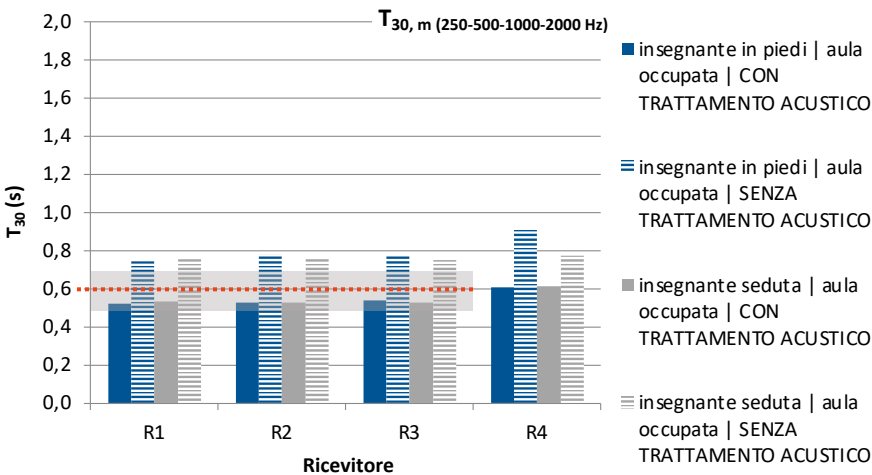
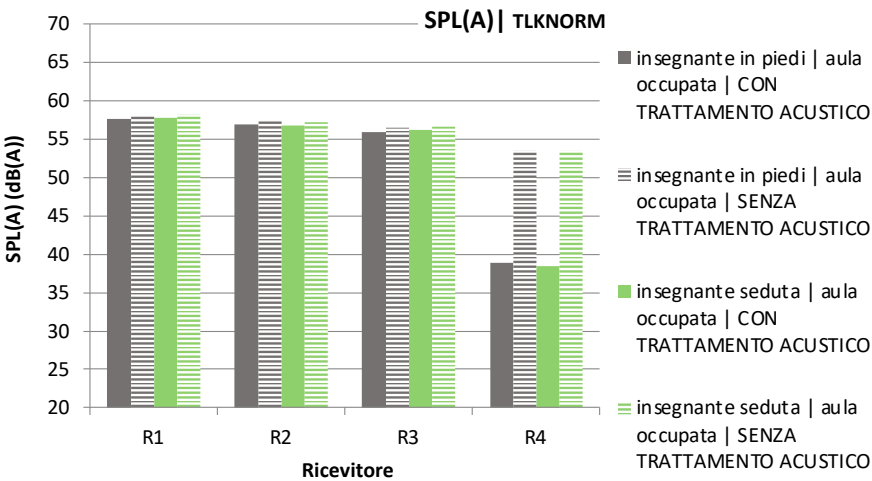
SORGENTI-RICEVITORI

OBIETTIVO: $T_m (250-500-1000-2000 \text{ Hz}) = 0,6 \text{ s}$

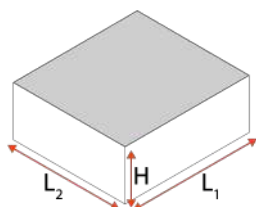
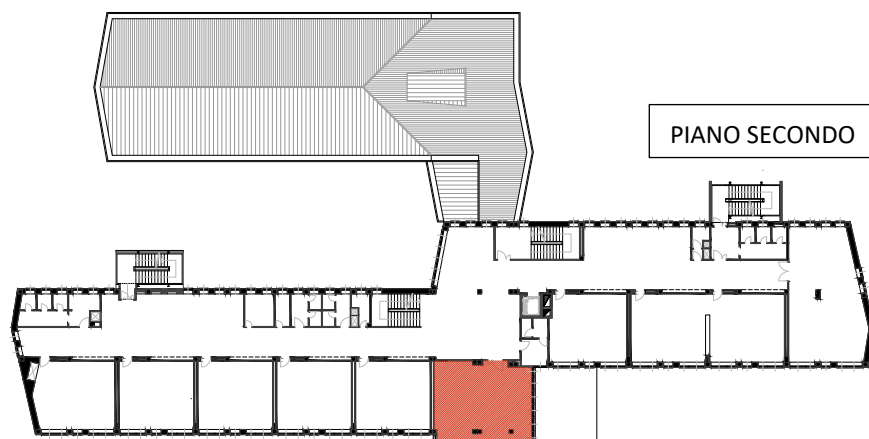
RISULTATI: media dei valori in R1, R2 e R3. Il ricevitore in R4 non è stato considerato nella media poiché è in una altro spazio didattico: nella sua posizione il valore di tempo di riverberazione può essere superiore rispetto al valore obiettivo (usando come sorgente l'insegnante nello spazio didattico studiato)

$T_{30, m} (250-500-1000-2000 \text{ Hz}) = 0,5 \text{ s}$ (insegnante in piedi)
 $T_{30, m} (250-500-1000-2000 \text{ Hz}) = 0,5 \text{ s}$ (insegnante seduta)

..... obiettivo intervallo di conformità



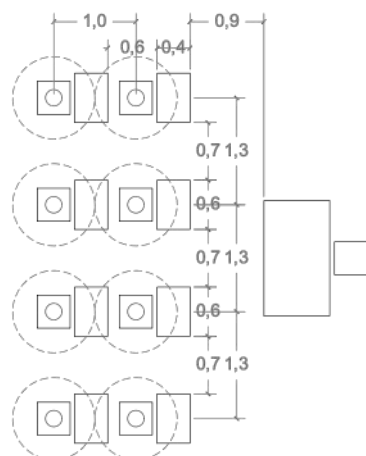
Beta Test 04 | SALA LETTURA



$L_1 = 9,3 \text{ m}$
 $L_2 = 7,5 \text{ m}$
 $H = 2,8 \text{ m}$
 $A_{\text{pav}} = 70 \text{ m}^2$
 $V = 193 \text{ m}^3$

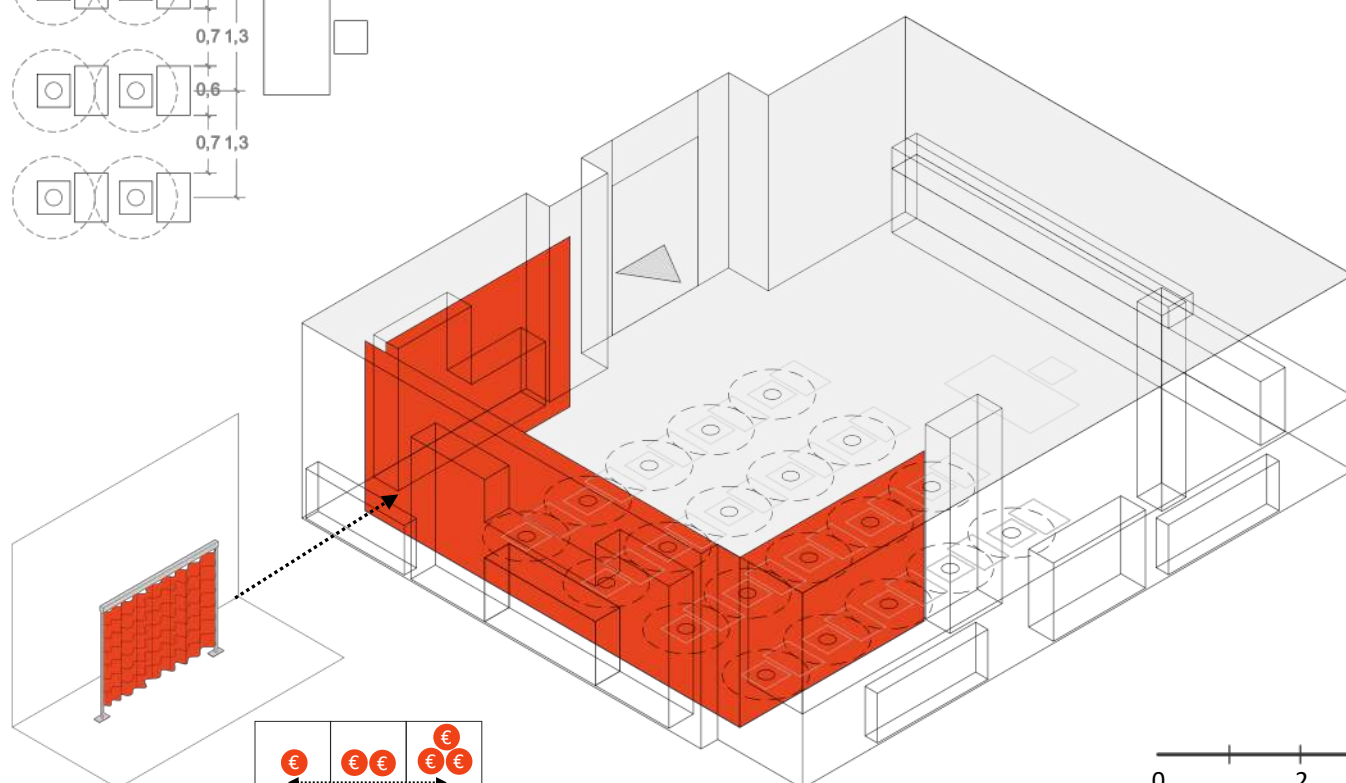


DISPOSIZIONE BANCHI E CATTEDRA
inserimento di n.1 classe (20 alunni)



soffitto mediamente fonoassorbente (già presente)

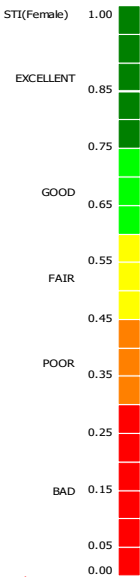
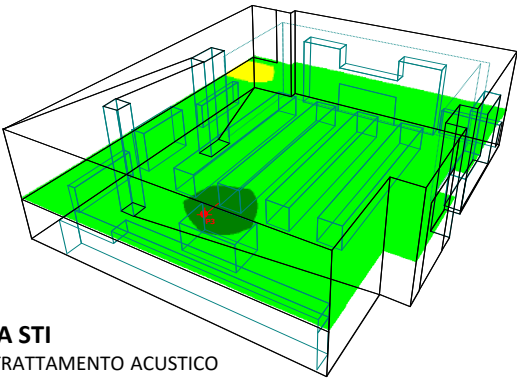
trattamento fonoassorbente (**40%** circa della somma delle aree delle pareti laterali e della parete di fondo – **29,4 m²**)



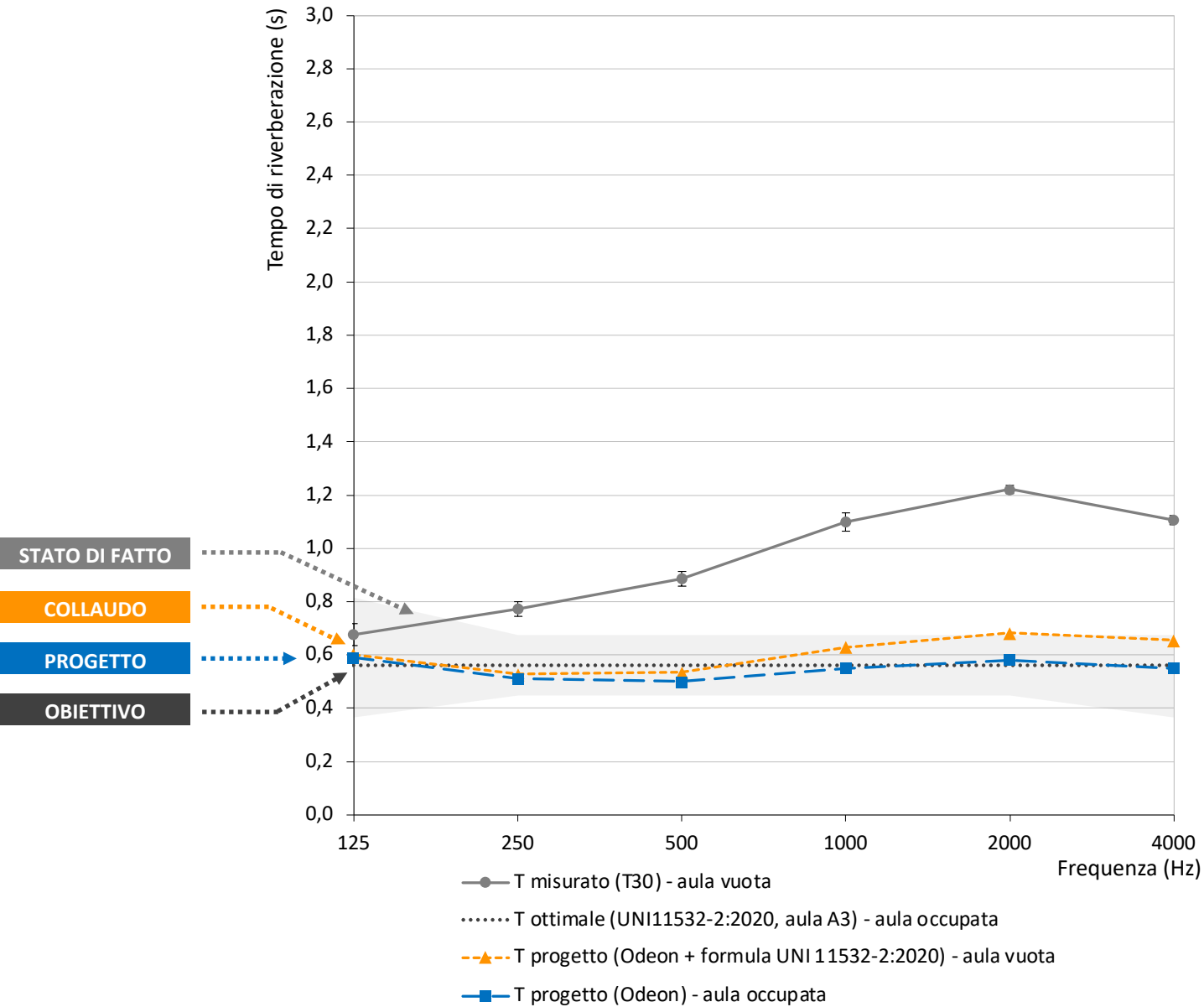
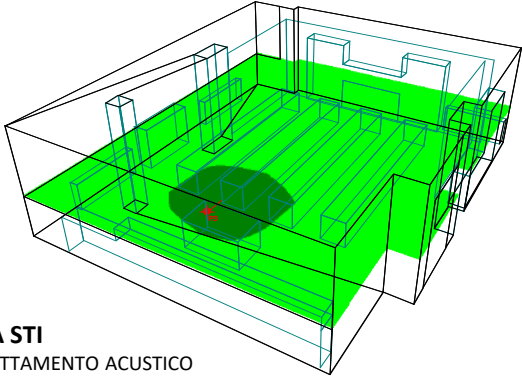
1. ANALISI GENERALE



MAPPA STI
SENZA TRATTAMENTO ACUSTICO
_ sorgente P3 (insegnante seduta)
_ rumore di fondo NC30



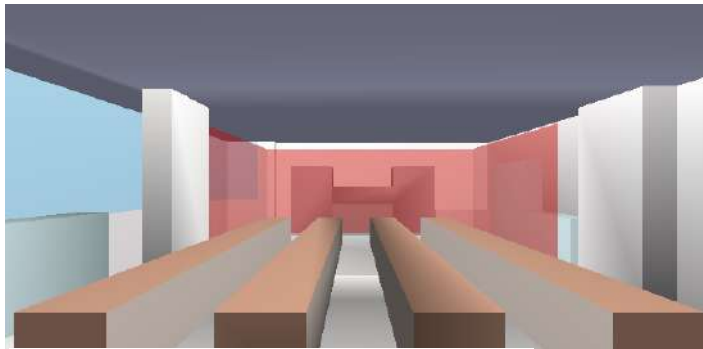
MAPPA STI
CON TRATTAMENTO ACUSTICO
_ sorgente P3 (insegnante seduta)
_ rumore di fondo NC30



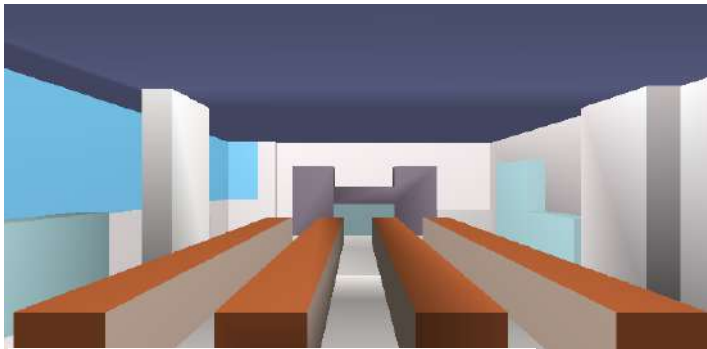
	Tempo di riverberazione, T (s)						T _m (250-500-1000-2000 Hz)
	125	250	500	1000	2000	4000	
T misurato (T ₃₀) - aula vuota	0,68	0,77	0,89	1,10	1,22	1,11	1,0
T ottimale (UNI11532-2:2020, aula A3) - aula occupata	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,6
T progetto (Odeon + formula UNI 11532-2:2020) - aula vuota	0,60	0,53	0,53	0,63	0,68	0,65	0,6
T progetto (Odeon) - aula occupata	0,59	0,51	0,50	0,55	0,58	0,55	0,5



CON TRATTAMENTO ACUSTICO



SENZA TRATTAMENTO ACUSTICO



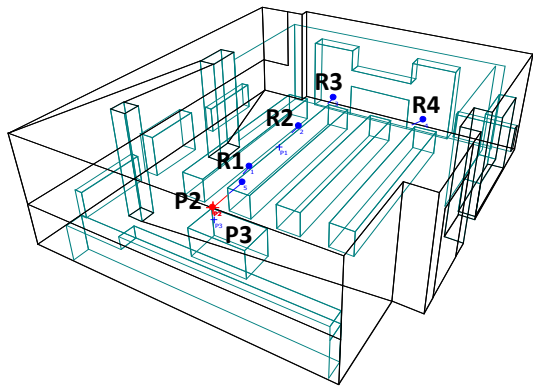
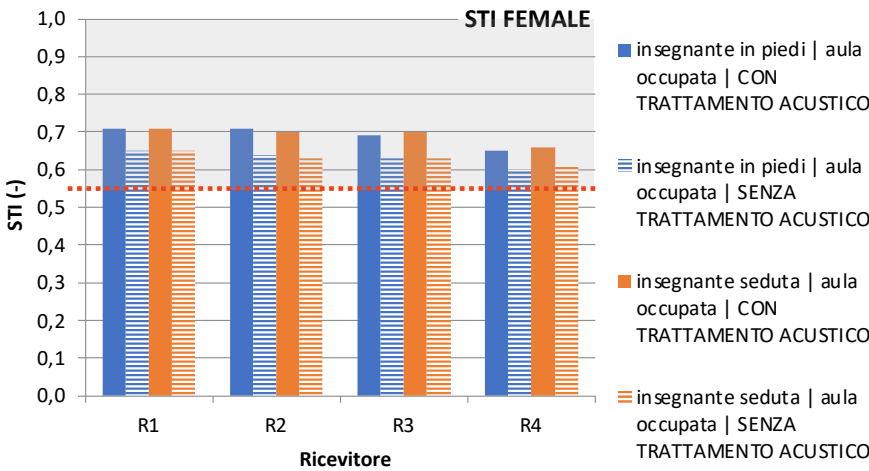
OBIETTIVO: $STI \geq 0,55$

RISULTATI: media dei valori in R1, R2, R3 e R4

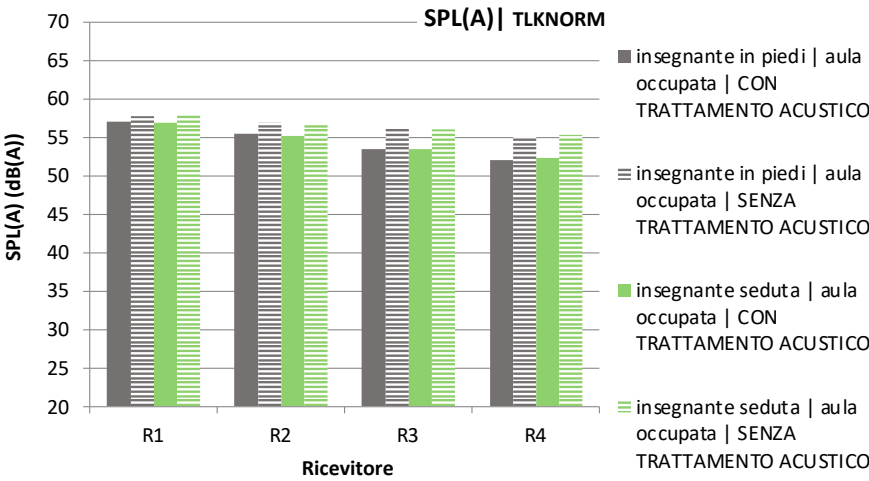
$STI (female)_{insegnante\ in\ piedi} = 0,69$

$STI (female)_{insegnante\ seduta} = 0,69$

..... obiettivo minimo intervallo di conformità



SORGENTI-RICEVITORI



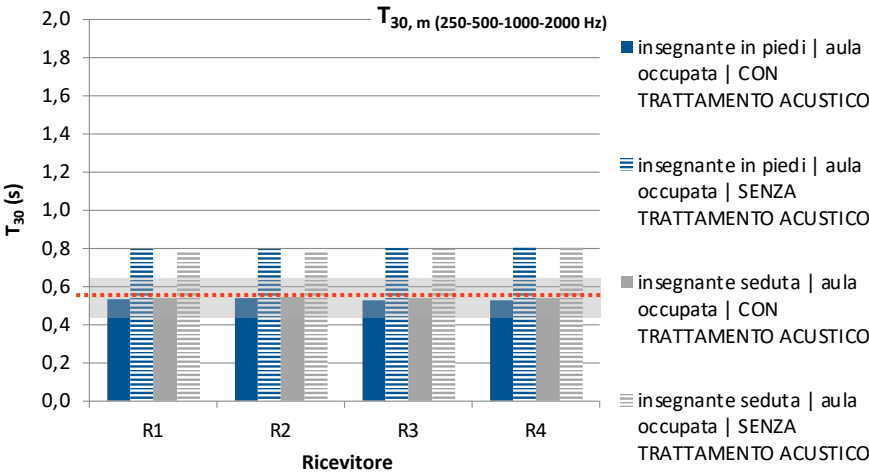
OBIETTIVO: $T_m (250-500-1000-2000\ Hz) = 0,6\ s$

RISULTATI: media dei valori in R1, R2, R3 e R4

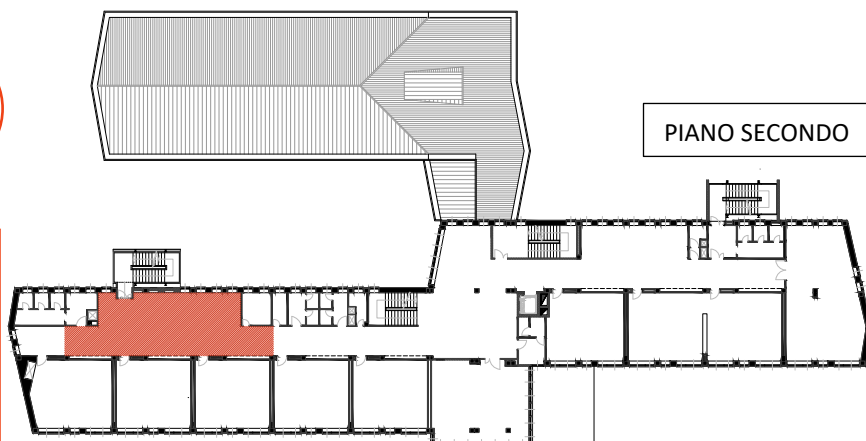
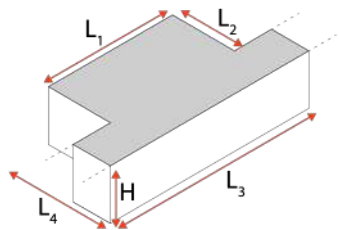
$T_{30, m} (250-500-1000-2000\ Hz) = 0,5\ s$ (insegnante in piedi)

$T_{30, m} (250-500-1000-2000\ Hz) = 0,5\ s$ (insegnante seduta)

..... obiettivo intervallo di conformità



Beta Test 04 | ATRIO 1



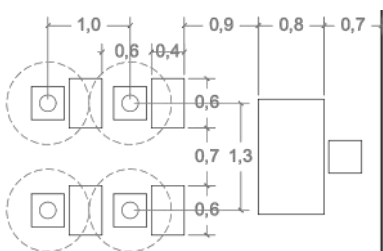
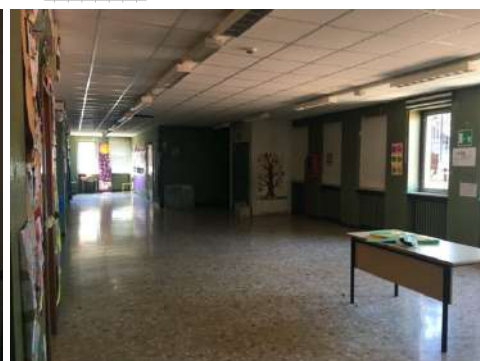
$$L_1 = 13,5 \text{ m} \quad L_2 = 3,2 \text{ m}$$

$$L_3 = 19,5 \text{ m} \quad L_4 = 6,0 \text{ m}$$

$$H = 2,8 \text{ m} - A_{\text{pav}} = 98 \text{ m}^2 (*)$$

$$V = 269 \text{ m}^3 (*) - V_{\text{«aula»}} = 121 \text{ m}^3 (*)$$

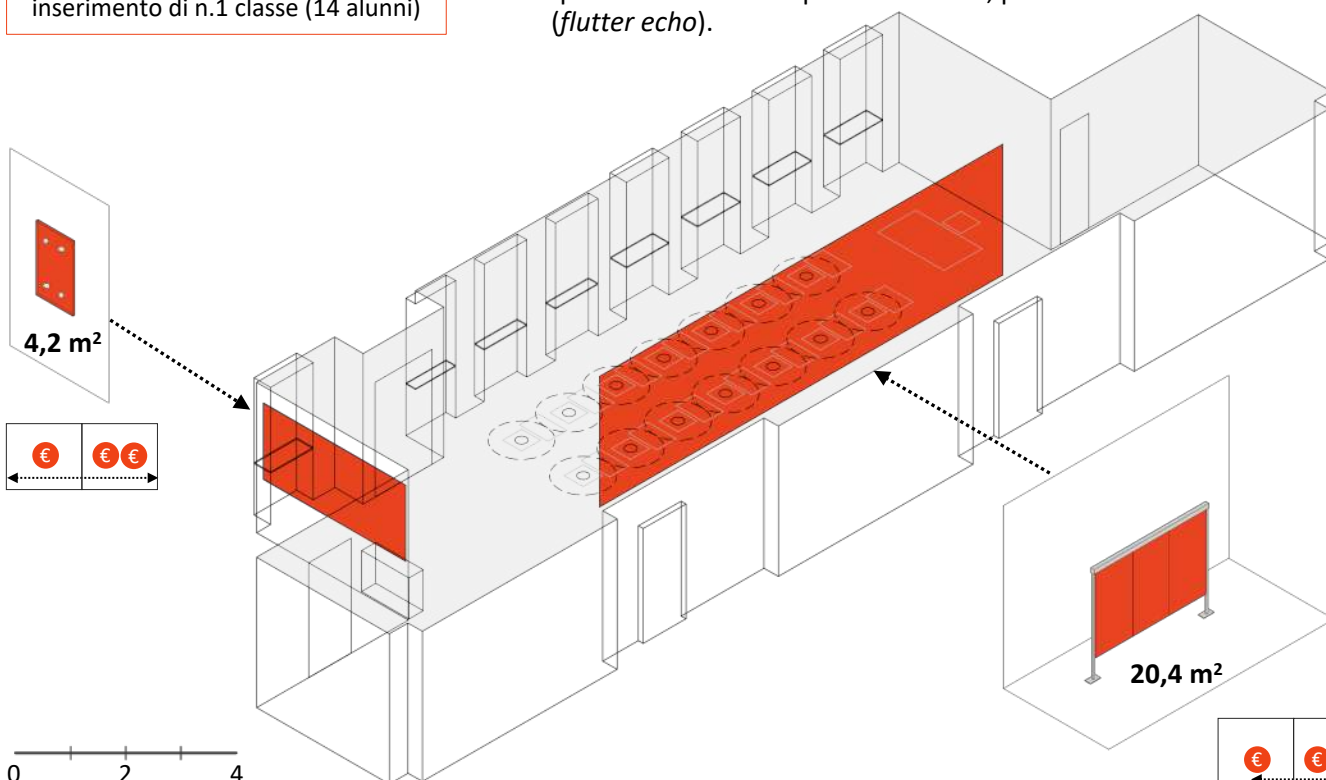
* l'area e il volume sono quelli considerati per il modello di simulazione acustica, superiori rispetto allo spazio di effettivo utilizzo per l'ambiente didattico temporaneo



DISPOSIZIONE BANCHI E CATTEDRA
inserimento di n.1 classe (14 alunni)

soffitto mediamente fonoassorbente (già presente)

treatmento fonoassorbente e fonoisolante: realizzando un'aula temporanea in uno spazio aperto di passaggio, il treatmento deve essere posto intorno all'area occupata dagli alunni, cercando di chiuderla il più possibile in altezza per diminuire il più possibile la trasmissione delle voci dal corridoio all'area occupata e viceversa. In questo caso il treatmento è di circa **20 m²** e sono stati lasciati 35 cm in altezza: 5 cm da pavimento e 30 cm da soffitto, per lasciar passare parte dell'illuminazione proveniente dalle finestre. È inoltre presente un treatmento di circa **4 m²** installato su quella che diventa la parete di fondo, per eliminare riflessioni tardive (*flutter echo*).



0 2 4

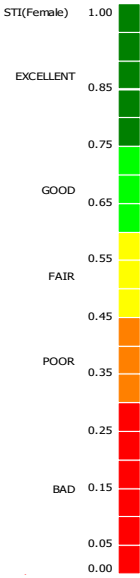
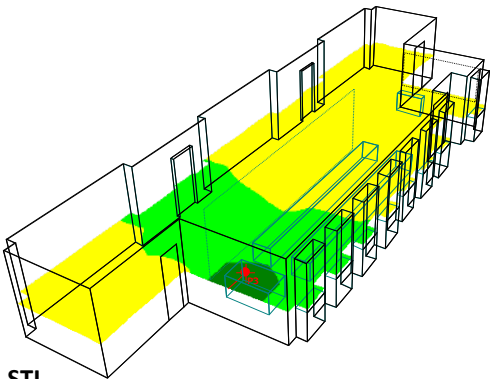
1. ANALISI GENERALE



MAPPA STI

SENZA TRATTAMENTO ACUSTICO

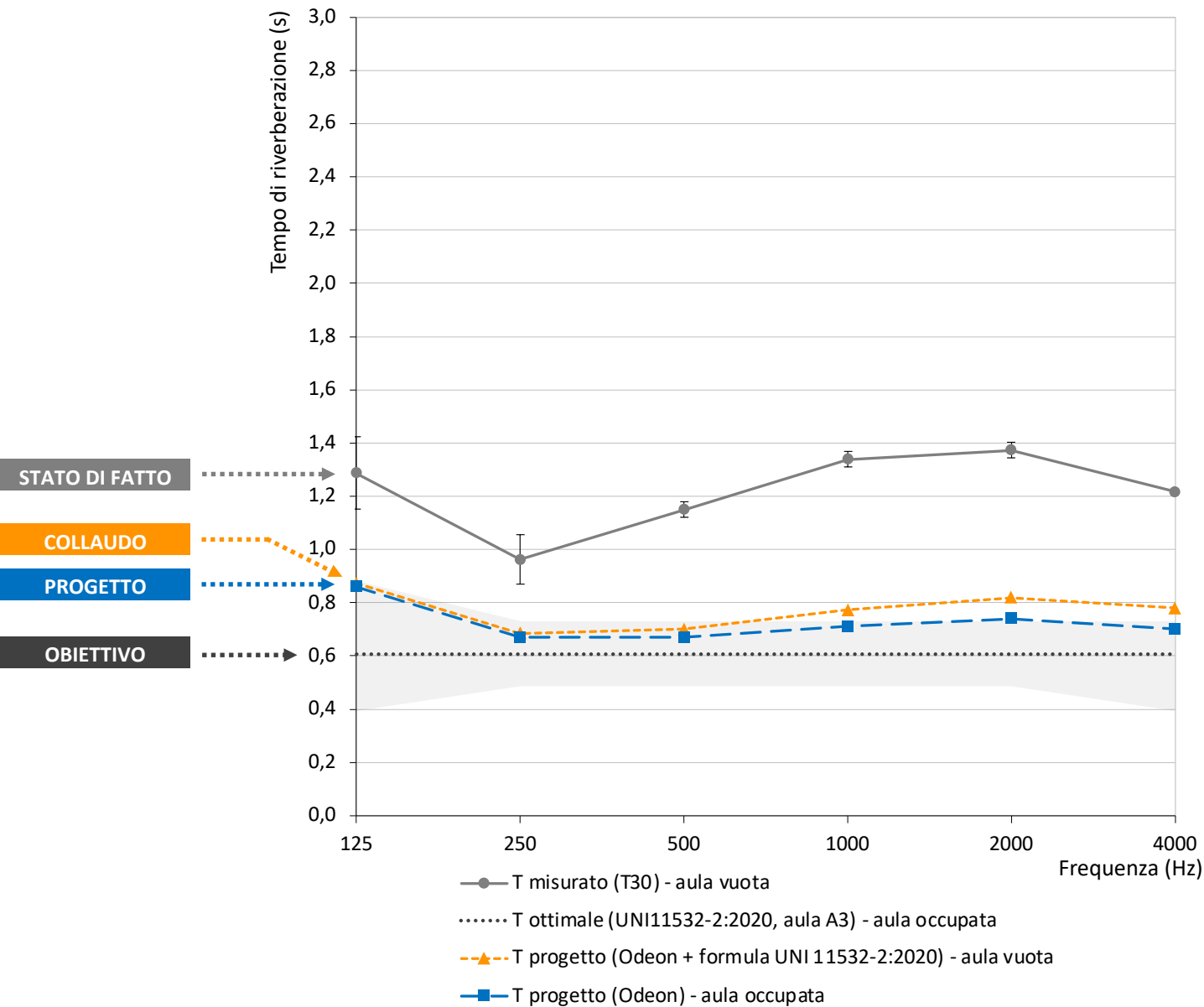
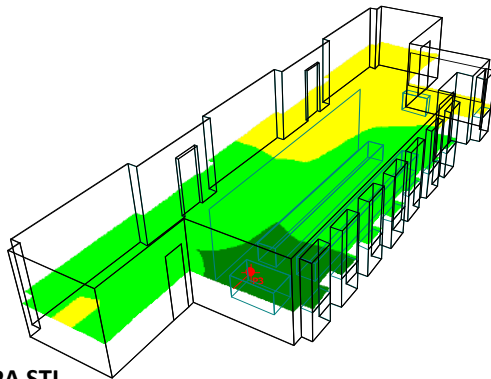
- _ sorgente P3 (insegnante seduta)
- _ rumore di fondo NC30



MAPPA STI

CON TRATTAMENTO ACUSTICO

- _ sorgente P3 (insegnante seduta)
- _ rumore di fondo NC30



	Tempo di riverberazione, T (s)						T _m (250-500-1000-2000 Hz)
	125	250	500	1000	2000	4000	
T misurato (T ₃₀) - aula vuota	1,29	0,96	1,15	1,34	1,37	1,22	1,2
T ottimale (UNI11532-2:2020, aula A3) - aula occupata	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,6
T progetto (Odeon + formula UNI 11532-2:2020) - aula vuota	0,87	0,68	0,70	0,77	0,82	0,78	0,7
T progetto (Odeon) - aula occupata	0,86	0,67	0,67	0,71	0,74	0,70	0,7



CON TRATTAMENTO ACUSTICO



SENZA TRATTAMENTO ACUSTICO



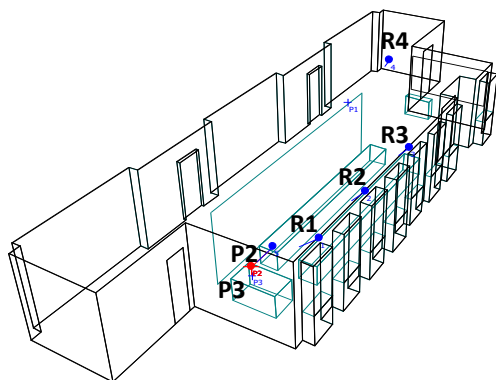
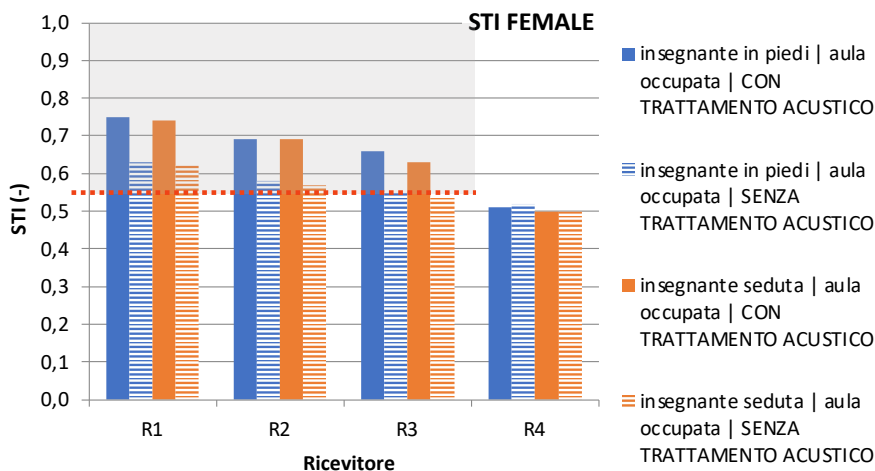
OBIETTIVO: $STI \geq 0,55$

RISULTATI: media dei valori in R1, R2 e R3. Il ricevitore in R4 non è stato considerato nella media poiché è fuori dallo spazio didattico: nella sua posizione il valore di STI può essere inferiore rispetto al valore obiettivo

STI (female)_{insegnante in piedi} = 0,70

STI (female)_{insegnante seduta} = 0,69

..... obiettivo minimo intervallo di conformità



SORGENTI-RICEVITORI

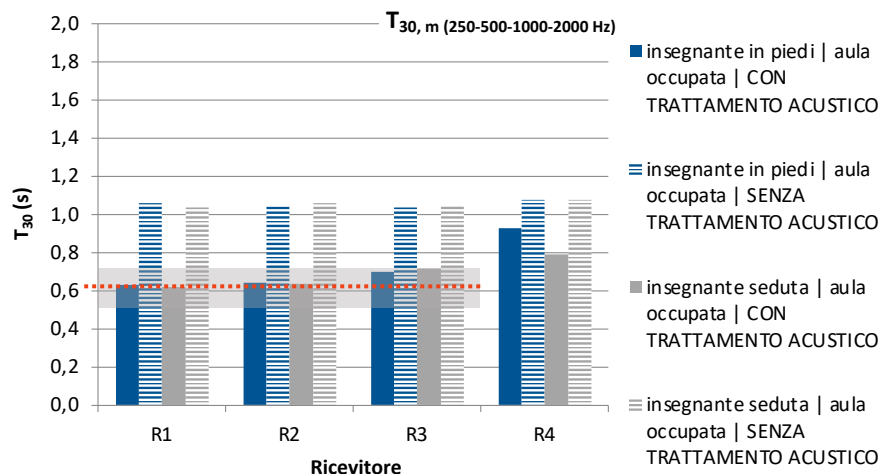
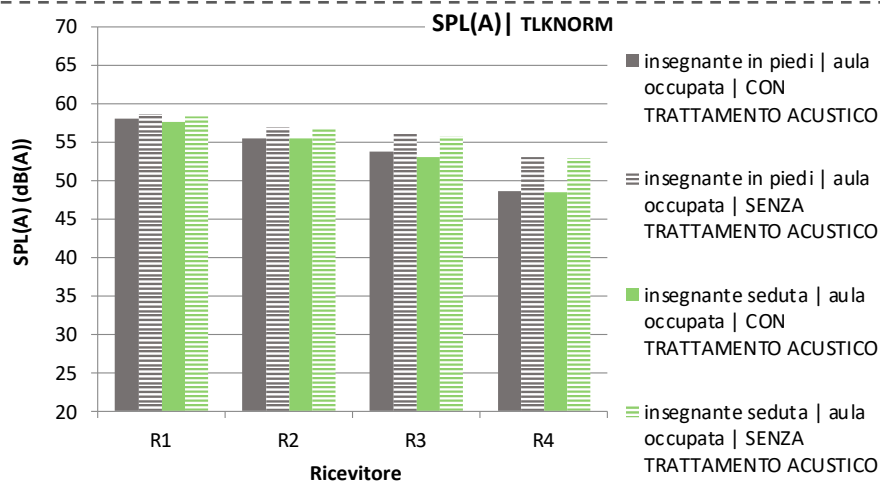
OBIETTIVO: $T_m (250-500-1000-2000 \text{ Hz}) = 0,6 \text{ s}$

RISULTATI: media dei valori in R1, R2 e R3. Il ricevitore in R4 non è stato considerato nella media poiché è fuori dallo spazio didattico: nella sua posizione il valore di tempo di riverberazione può essere superiore rispetto al valore obiettivo

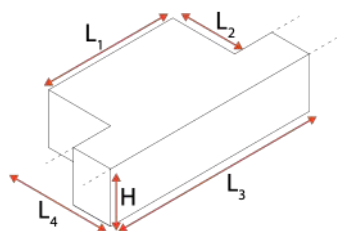
$T_{30, m} (250-500-1000-2000 \text{ Hz}) = 0,7 \text{ s}$ (insegnante in piedi)

$T_{30, m} (250-500-1000-2000 \text{ Hz}) = 0,7 \text{ s}$ (insegnante seduta)

..... obiettivo intervallo di conformità



Beta Test 04 | ATRIO 2



$$L_1 = 13,5 \text{ m} \quad L_2 = 3,2 \text{ m}$$

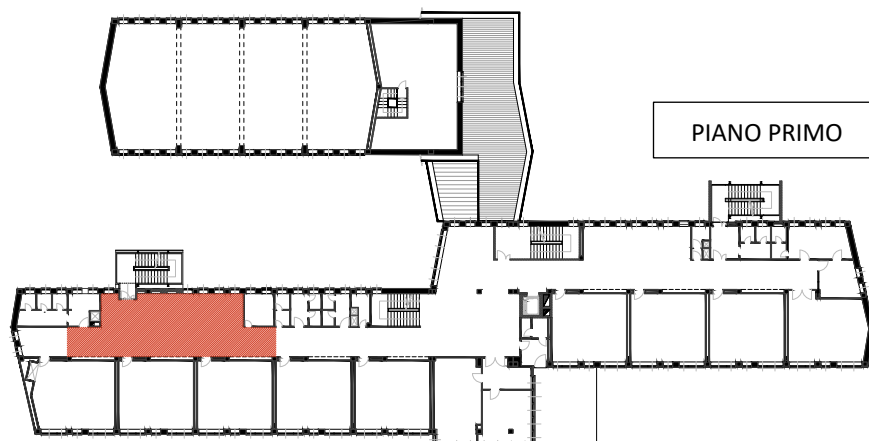
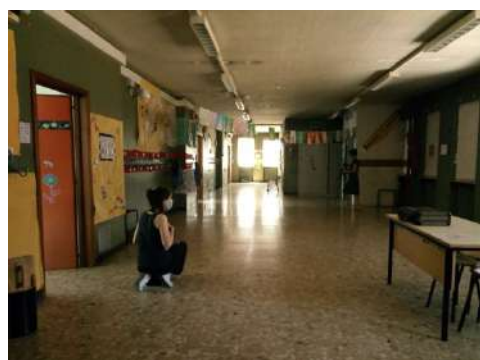
$$L_3 = 19,5 \text{ m} \quad L_4 = 6,0 \text{ m}$$

$$H = 3,0 \text{ m}$$

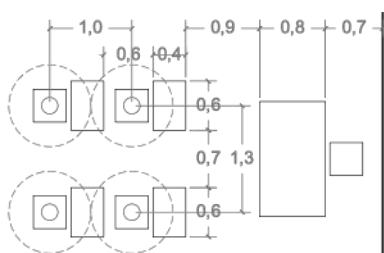
$$A_{\text{pav}} = 98 \text{ m}^2 (*)$$

$$V = 293 \text{ m}^3 (*) - V_{\text{«aula»}} = 130 \text{ m}^3 (*)$$

** l'area e il volume sono quelli considerati per il modello di simulazione acustica, superiori rispetto allo spazio di effettivo utilizzo per l'ambiente didattico temporaneo*

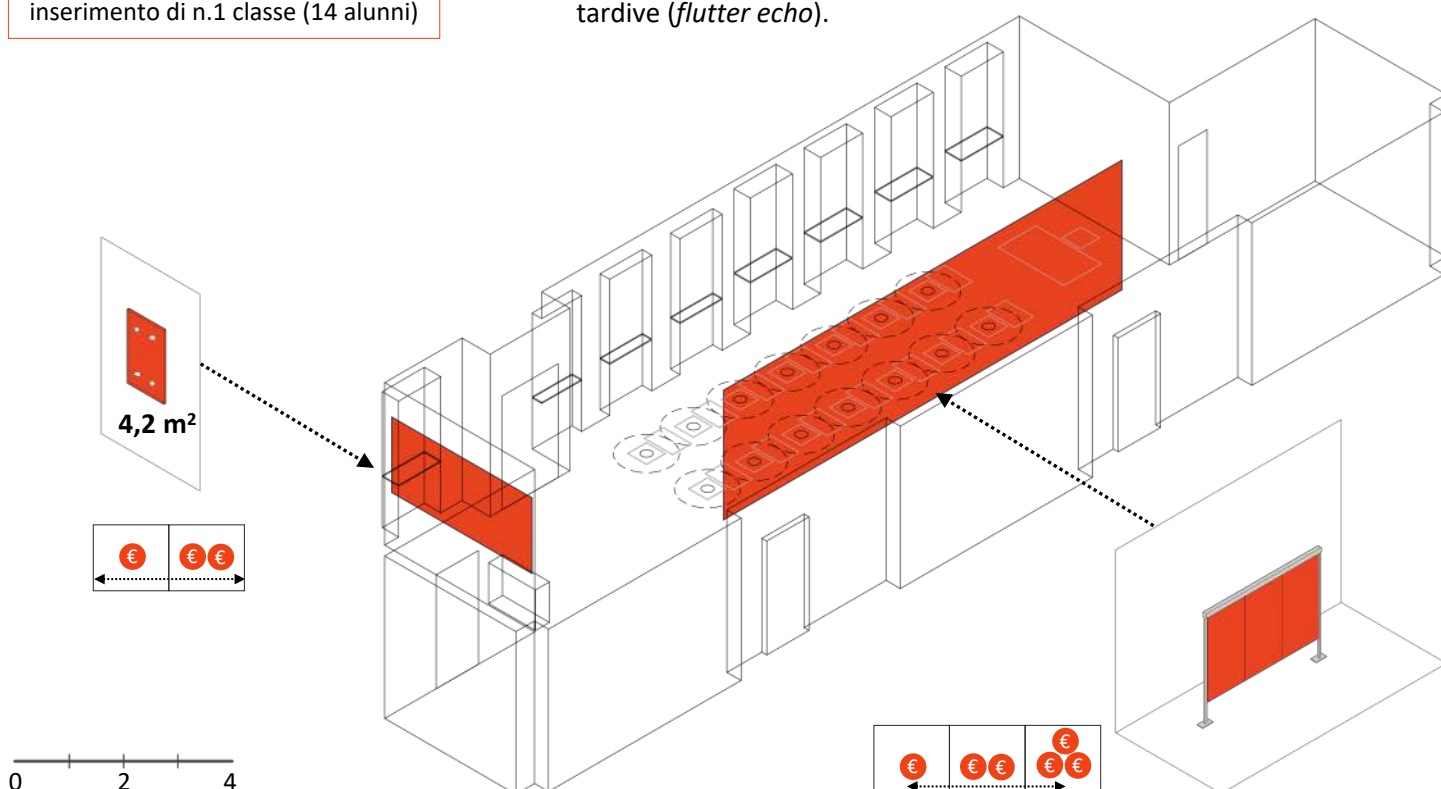


PIANO PRIMO



DISPOSIZIONE BANCHI E CATTEDRA
inserimento di n.1 classe (14 alunni)

trattamento fonoassorbente e fonoisolante: realizzando un'aula temporanea in uno spazio aperto di passaggio, il trattamento deve essere posto intorno all'area occupata dagli alunni, cercando di chiuderla il più possibile in altezza per diminuire il più possibile la trasmissione delle voci dal corridoio all'area occupata e viceversa. In questo caso il trattamento è di circa **20 m²** e sono stati lasciati 35 cm in altezza: 5 cm da pavimento e 30 cm da soffitto, per lasciar passare parte dell'illuminazione proveniente dalle finestre. È inoltre presente un trattamento di circa **4 m²** installato su quella che diventa la parete di fondo, per eliminare riflessioni tardive (*flutter echo*).

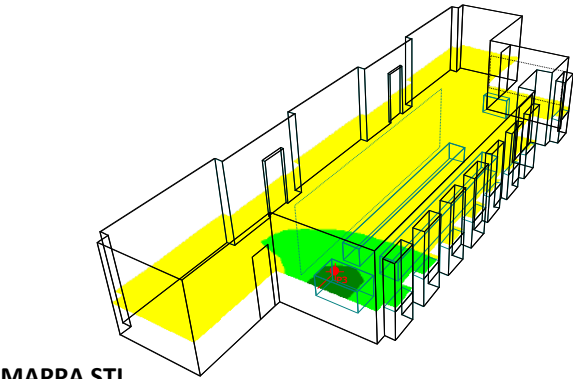


4,2 m²

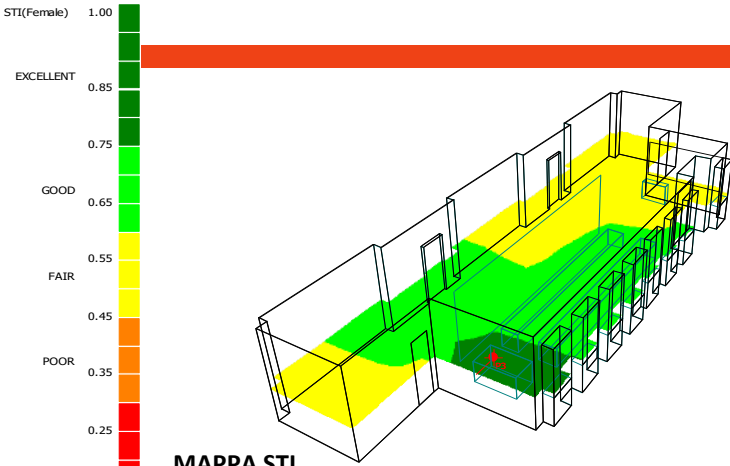


0 2 4

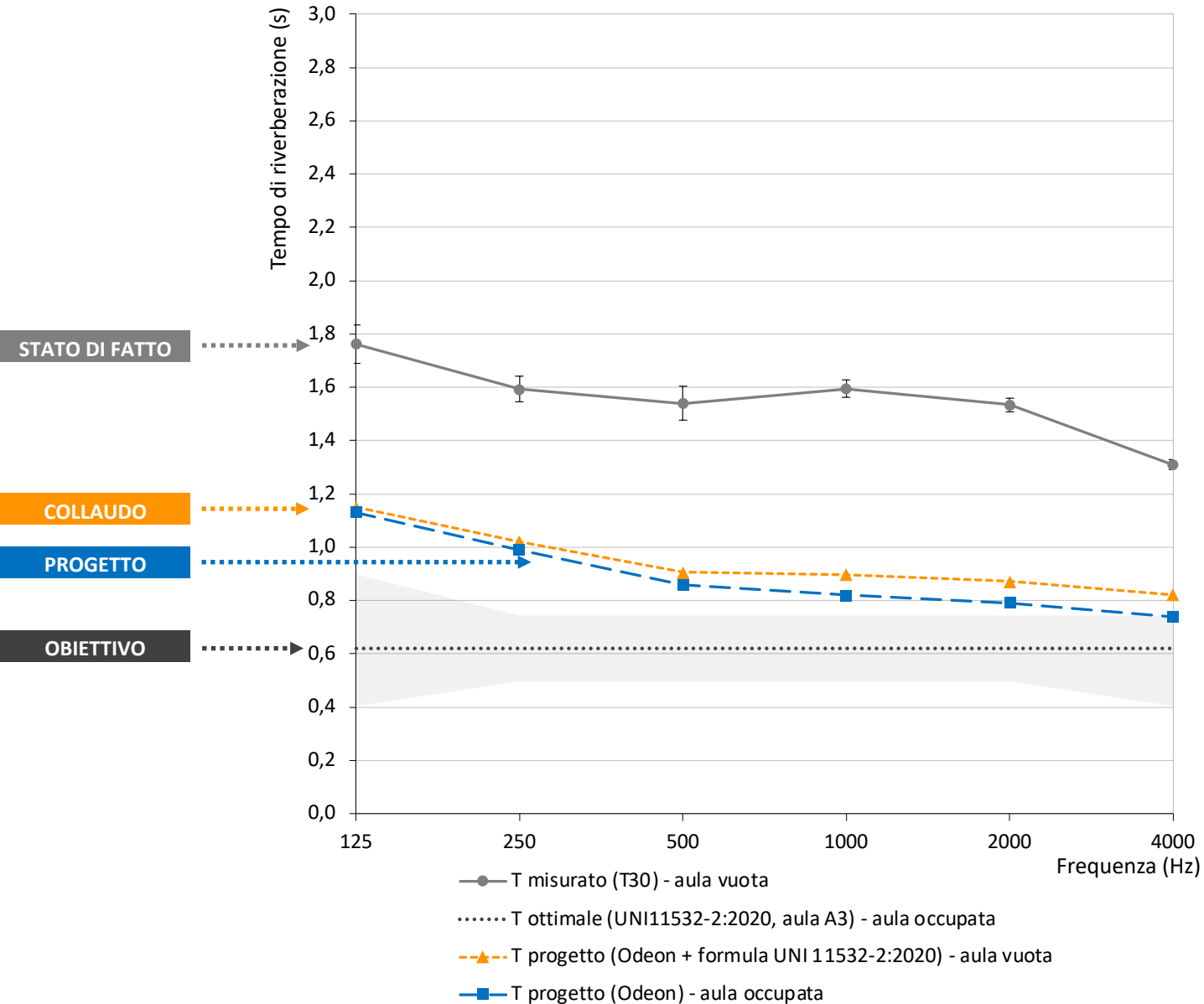
1. ANALISI GENERALE



MAPPA STI
SENZA TRATTAMENTO ACUSTICO
_ sorgente P3 (insegnante seduta)
_ rumore di fondo NC30



MAPPA STI
CON TRATTAMENTO ACUSTICO
_ sorgente P3 (insegnante seduta)
_ rumore di fondo NC30



	Tempo di riverberazione, T (s)						T _m (250-500-1000-2000 Hz)
	125	250	500	1000	2000	4000	
T misurato (T ₃₀) - aula vuota	1,76	1,59	1,54	1,60	1,53	1,31	1,6
T ottimale (UNI11532-2:2020, aula A3) - aula occupata	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,6
T progetto (Odeon + formula UNI 11532-2:2020) - aula vuota	1,15	1,02	0,91	0,90	0,87	0,82	0,9
T progetto (Odeon) - aula occupata	1,13	0,99	0,86	0,82	0,79	0,74	0,9



CON TRATTAMENTO ACUSTICO



SENZA TRATTAMENTO ACUSTICO



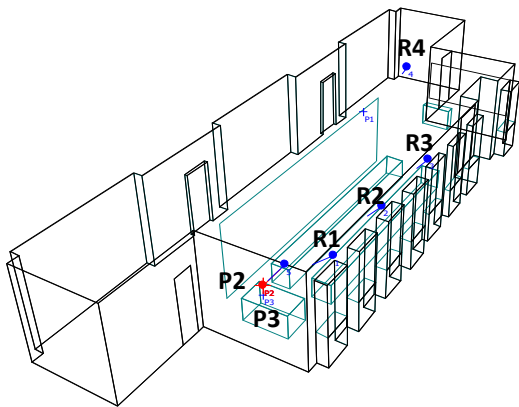
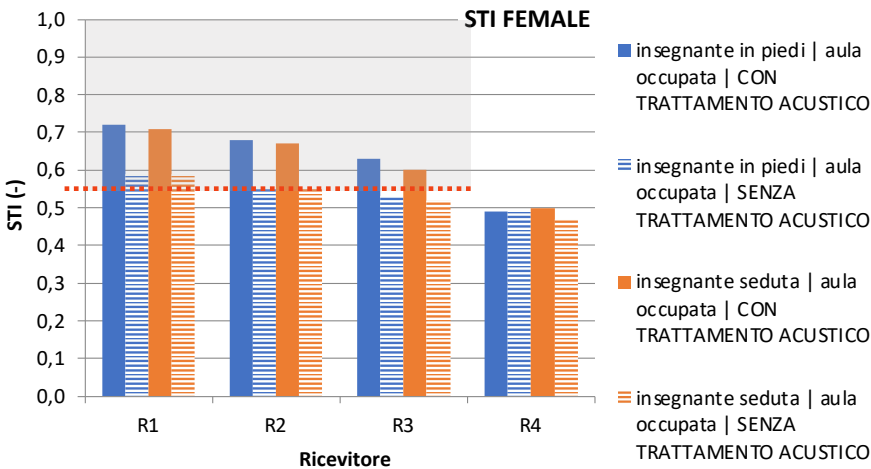
OBIETTIVO: $STI \geq 0,55$

RISULTATI: media dei valori in R1, R2 e R3. Il ricevitore in R4 non è stato considerato nella media poiché è fuori dallo spazio didattico: nella sua posizione il valore di STI può essere inferiore rispetto al valore obiettivo

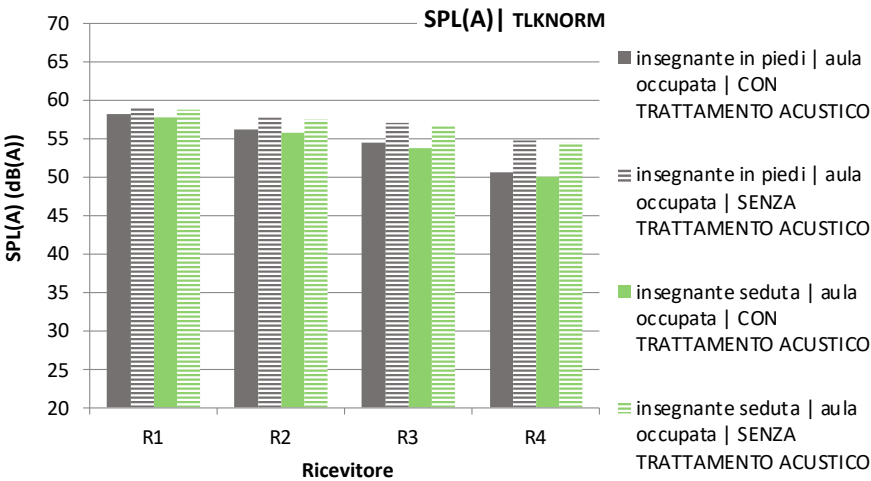
$STI (female)_{insegnante\ in\ piedi} = 0,68$

$STI (female)_{insegnante\ seduta} = 0,66$

..... obiettivo minimo intervallo di conformità



SORGENTI-RICEVITORI



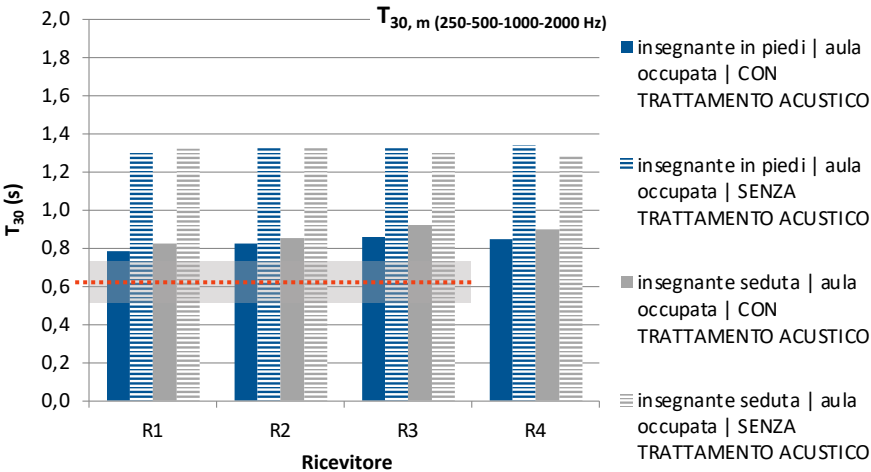
OBIETTIVO: $T_m (250-500-1000-2000\ Hz) = 0,6\ s$

RISULTATI: media dei valori in R1, R2 e R3. Il ricevitore in R4 non è stato considerato nella media poiché è fuori dallo spazio didattico: nella sua posizione il valore di tempo di riverberazione può essere superiore rispetto al valore obiettivo

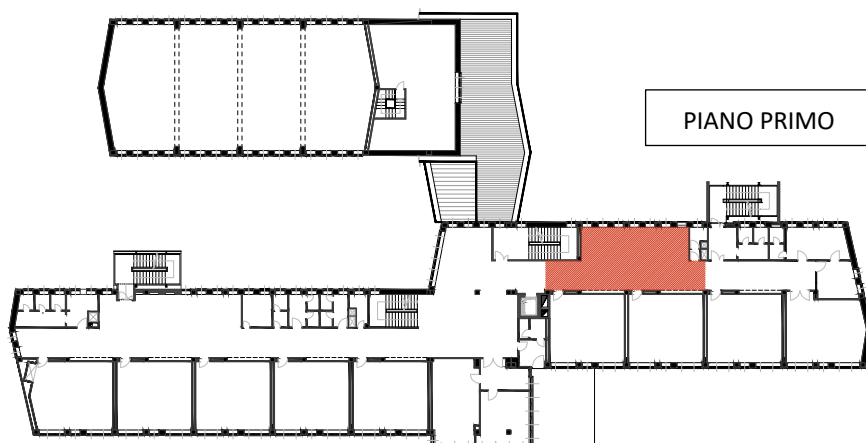
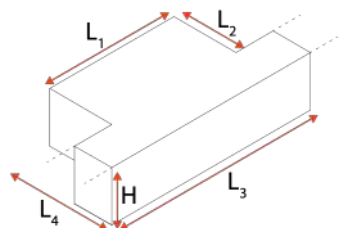
$T_{30, m (250-500-1000-2000\ Hz)} = 0,8\ s$ (insegnante in piedi)

$T_{30, m (250-500-1000-2000\ Hz)} = 0,9\ s$ (insegnante seduta)

..... obiettivo intervallo di conformità



Beta Test 04 | ATRIO 3



PIANO PRIMO

$$L_1 = 10,2 \text{ m} \quad L_2 = 3,2 \text{ m}$$

$$L_3 = 15,2 \text{ m} \quad L_4 = 6,0 \text{ m}$$

$$H = 3,0 \text{ m}$$

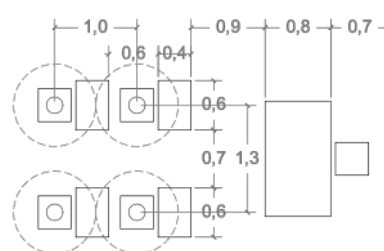
$$A_{\text{pav}} = 75 \text{ m}^2 (*)$$

$$V = 225 \text{ m}^3 (*) - V_{\text{«aula»}} = 98 \text{ m}^3 (*)$$

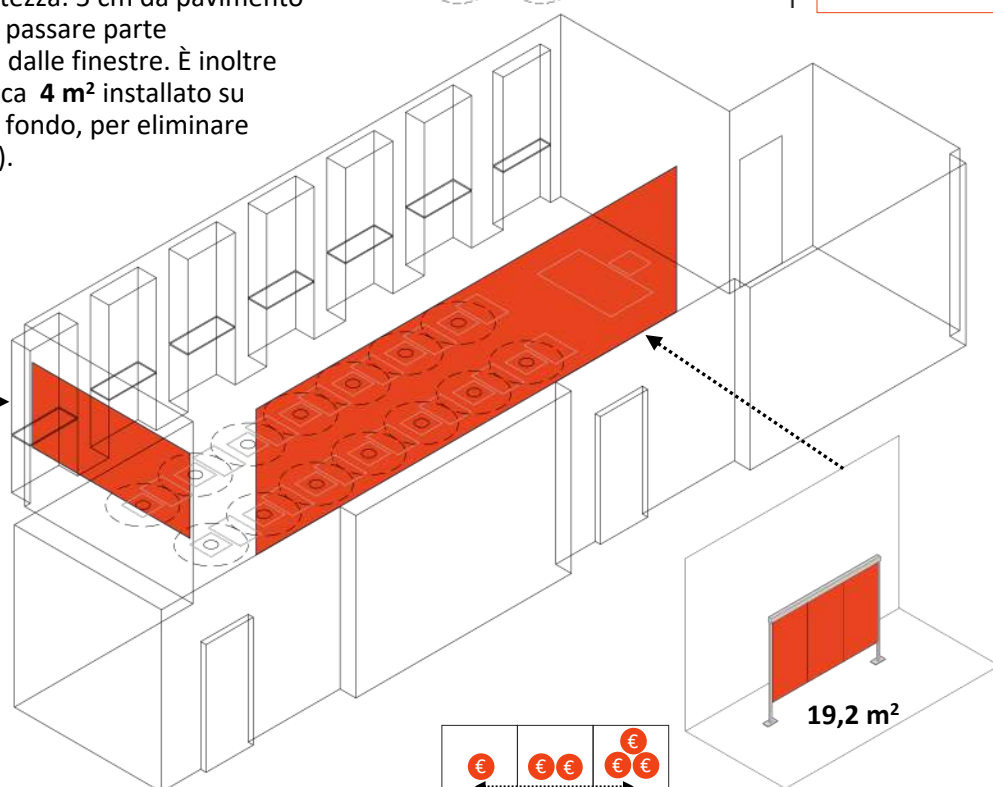
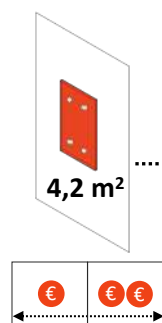
** l'area e il volume sono quelli considerati per il modello di simulazione acustica, superiori rispetto allo spazio di effettivo utilizzo per l'ambiente didattico temporaneo*



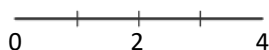
trattamento fonoassorbente e fonoassorbente: realizzando un'aula temporanea in uno spazio aperto di passaggio, il trattamento deve essere posto intorno all'area occupata dagli alunni, cercando di chiuderla il più possibile in altezza per diminuire il più possibile la trasmissione delle voci dal corridoio all'area occupata e viceversa. In questo caso il trattamento è di circa **19 m²** e sono stati lasciati 35 cm in altezza: 5 cm da pavimento e 30 cm da soffitto, per lasciar passare parte dell'illuminazione proveniente dalle finestre. È inoltre presente un trattamento di circa **4 m²** installato su quella che diventa la parete di fondo, per eliminare riflessioni tardive (*flutter echo*).



DISPOSIZIONE
BANCHI E
CATTEDRA
inserimento di
n.1 classe (14
alunni)



19,2 m²



1. ANALISI GENERALE

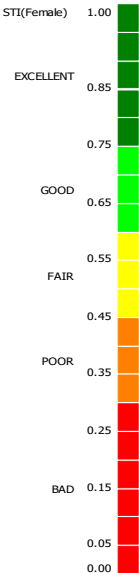
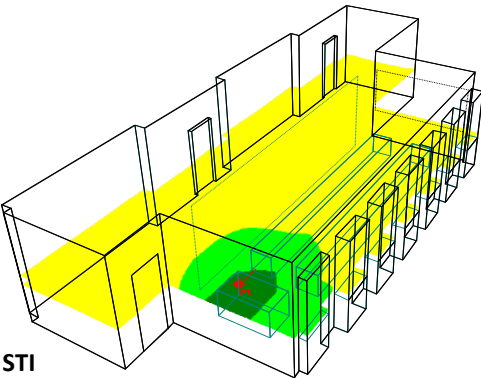


MAPPA STI

SENZA TRATTAMENTO ACUSTICO

_ sorgente P3 (insegnante seduta)

_ rumore di fondo NC30

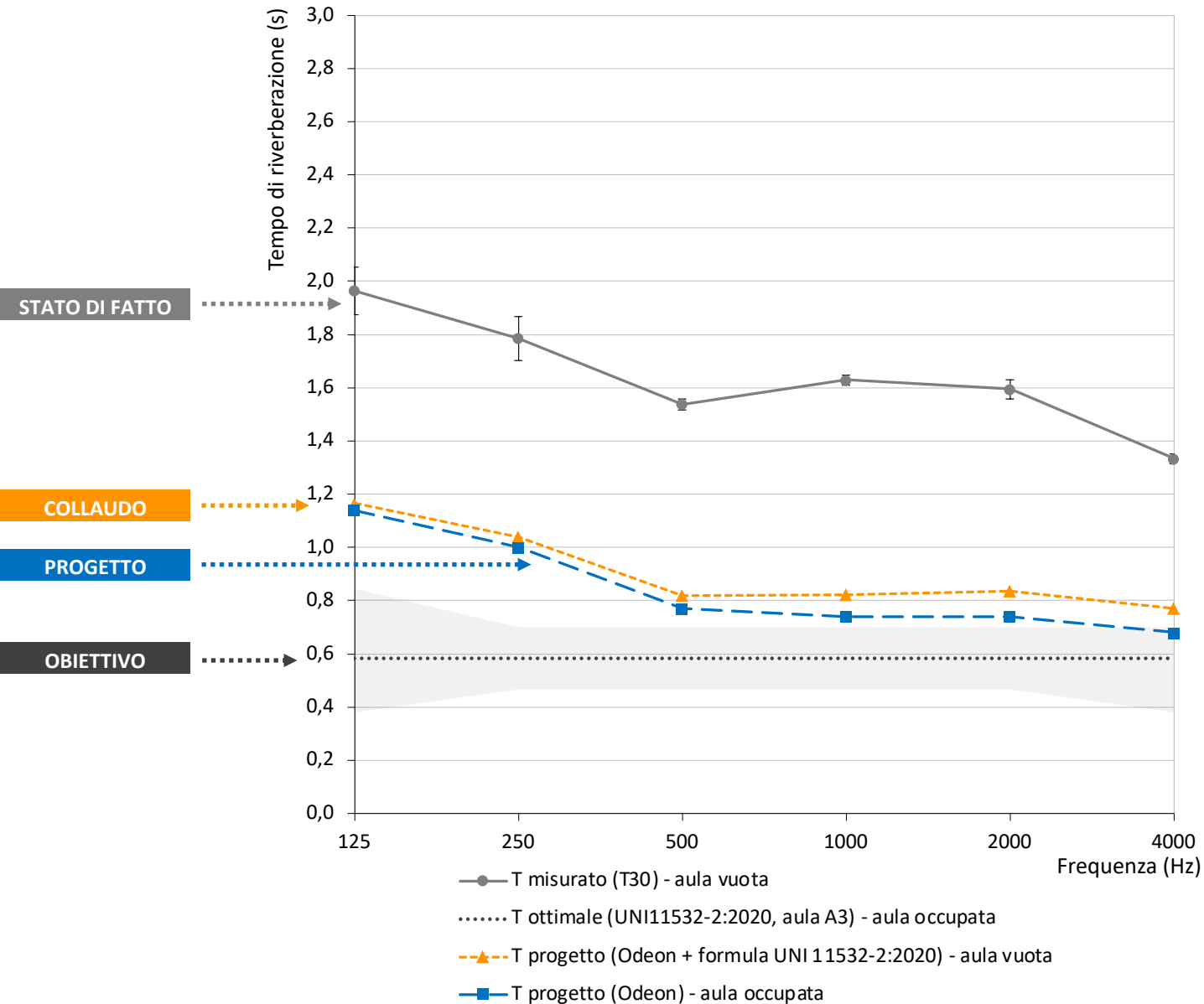
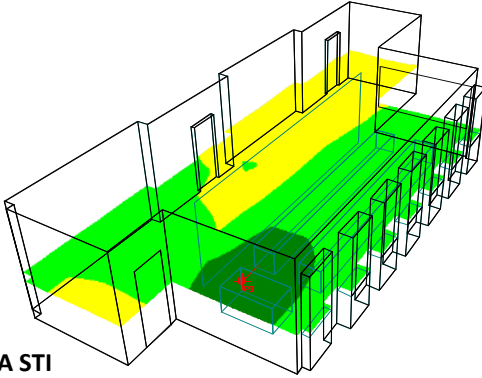


MAPPA STI

CON TRATTAMENTO ACUSTICO

_ sorgente P3 (insegnante seduta)

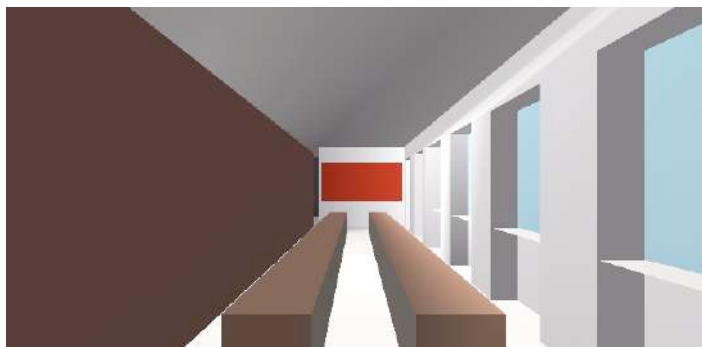
_ rumore di fondo NC30



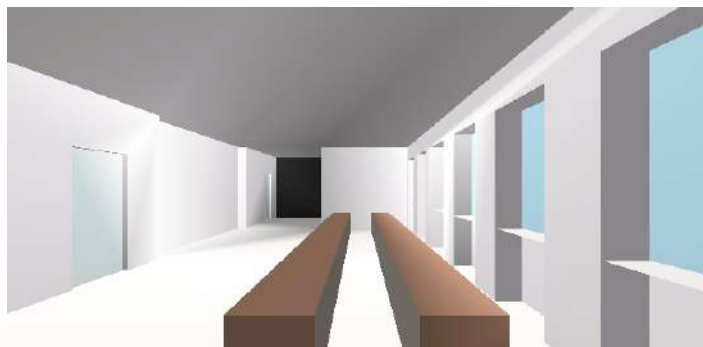
	Tempo di riverberazione, T (s)						T _m (250-500-1000-2000 Hz)
	125	250	500	1000	2000	4000	
T misurato (T ₃₀) - aula vuota	1,96	1,79	1,54	1,63	1,60	1,33	1,6
T ottimale (UNI11532-2:2020, aula A3) - aula occupata	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,6
T progetto (Odeon + formula UNI 11532-2:2020) - aula vuota	1,17	1,04	0,82	0,82	0,84	0,77	0,9
T progetto (Odeon) - aula occupata	1,14	1,00	0,77	0,74	0,74	0,68	0,8



CON TRATTAMENTO ACUSTICO



SENZA TRATTAMENTO ACUSTICO



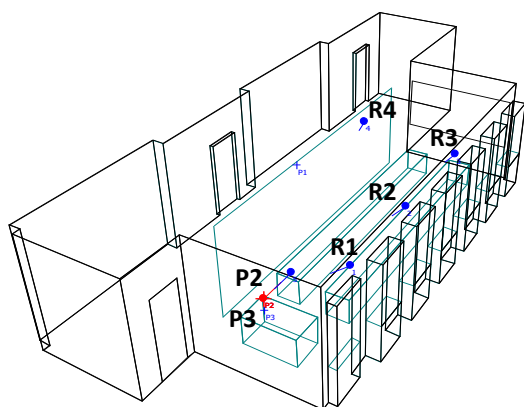
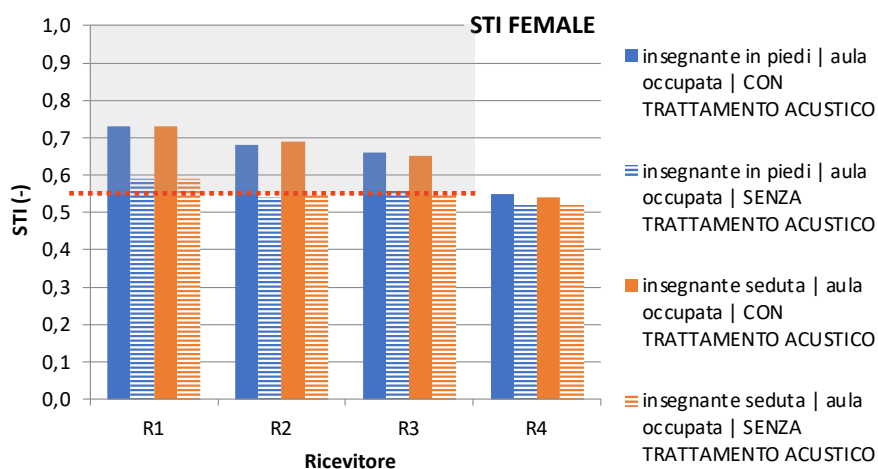
OBIETTIVO: $STI \geq 0,55$

RISULTATI: media dei valori in R1, R2 e R3. Il ricevitore in R4 non è stato considerato nella media poiché è fuori dallo spazio didattico: nella sua posizione il valore di STI può essere inferiore rispetto al valore obiettivo

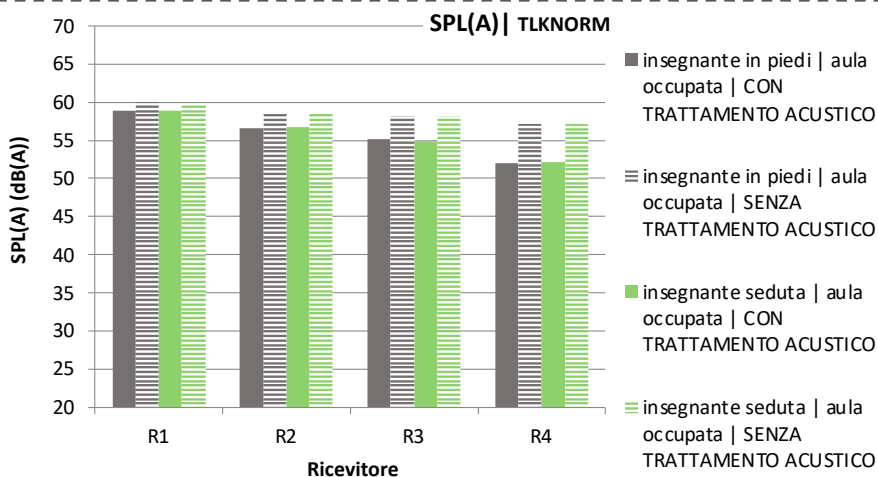
$STI (female)_{insegnante in piedi} = 0,69$

$STI (female)_{insegnante seduta} = 0,69$

..... obiettivo minimo intervallo di conformità



SORGENTI-RICEVITORI



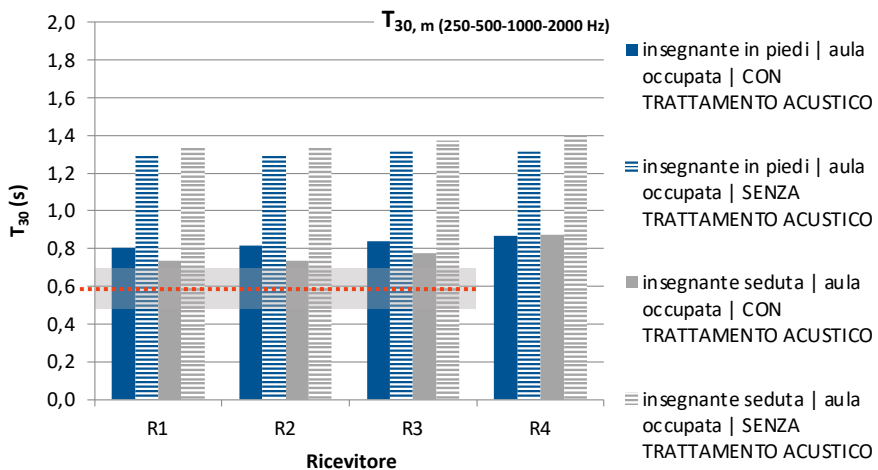
OBIETTIVO: $T_m (250-500-1000-2000 \text{ Hz}) = 0,6 \text{ s}$

RISULTATI: media dei valori in R1, R2 e R3. Il ricevitore in R4 non è stato considerato nella media poiché è fuori dallo spazio didattico: nella sua posizione il valore di tempo di riverberazione può essere superiore rispetto al valore obiettivo

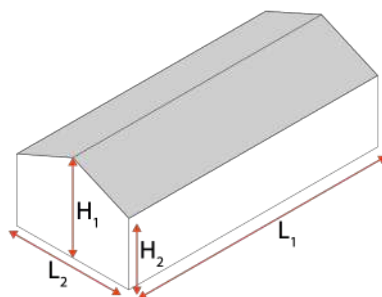
$T_{30, m} (250-500-1000-2000 \text{ Hz}) = 0,8 \text{ s}$ (insegnante in piedi)

$T_{30, m} (250-500-1000-2000 \text{ Hz}) = 0,7 \text{ s}$ (insegnante seduta)

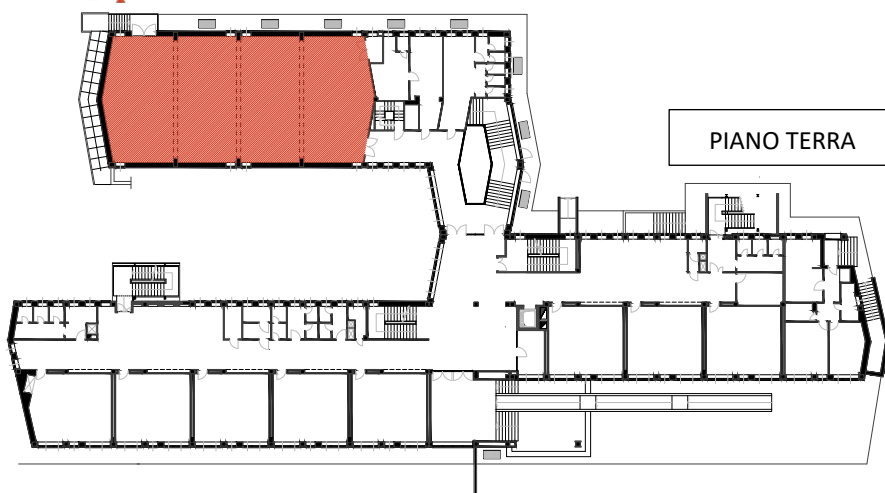
..... obiettivo intervallo di conformità



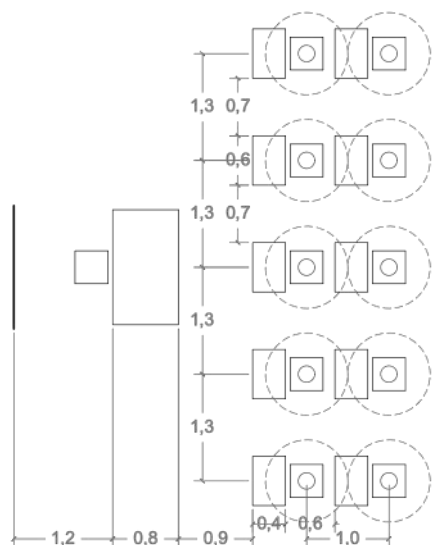
Beta Test 04 | PALESTRA



$L_1 = 23,9 \text{ m}$
 $L_2 = 12,0 \text{ m}$
 $H_1 = 7,7 \text{ m}$
 $H_2 = 6,0 \text{ m}$
 $A_{pav} = 298 \text{ m}^2$
 $V = 2.018 \text{ m}^3$



S
T
A
T
O
D
I
F
A
T
T
O

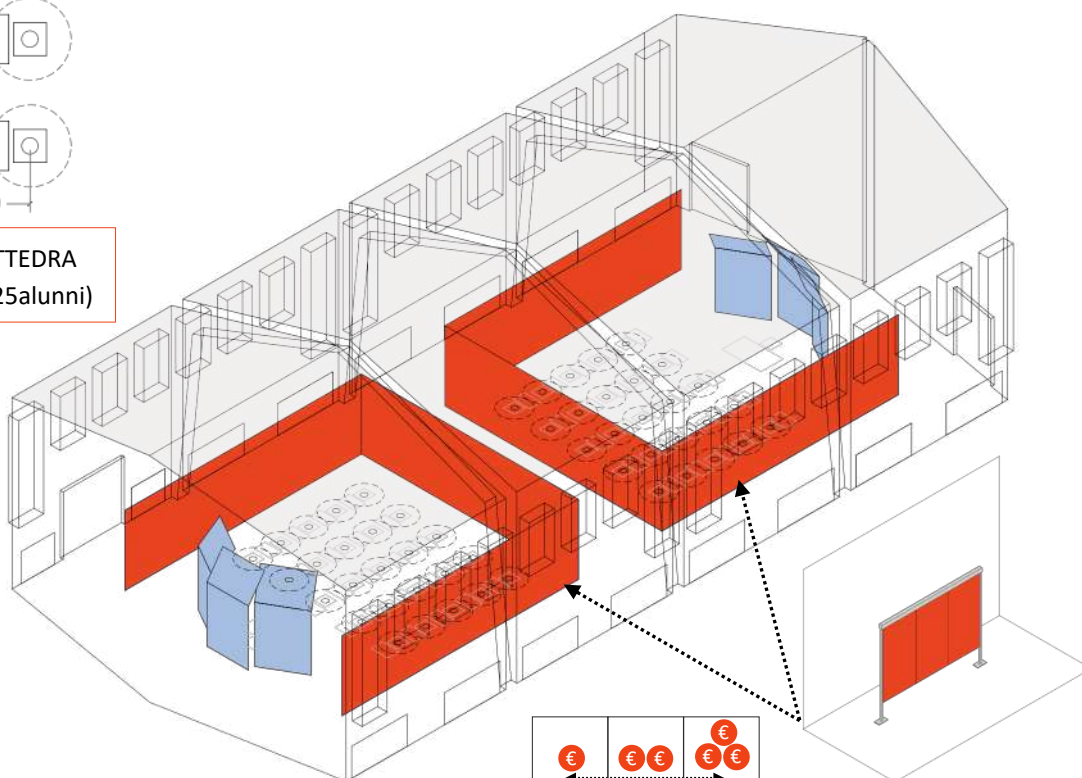


DISPOSIZIONE BANCHI E CATTEDRA
inserimento di n.2 classi (25+25alunni)

conchiglia acustica

soffitto mediamente fonoassorbente (già presente)

treatmento fonoassorbente e fonoisolante: realizzando due aule temporanee in un unico spazio, il treatmento deve essere posto intorno all'area occupata dagli alunni, lasciando solo lo spazio necessario per l'entrata e l'uscita. In questo caso il treatmento è di circa **124 m²** e ha un'altezza di 2,5 m.



S
T
A
T
O
D
I
P
R
O
G
E
T
T
O

0 2 4

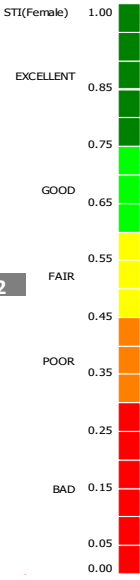
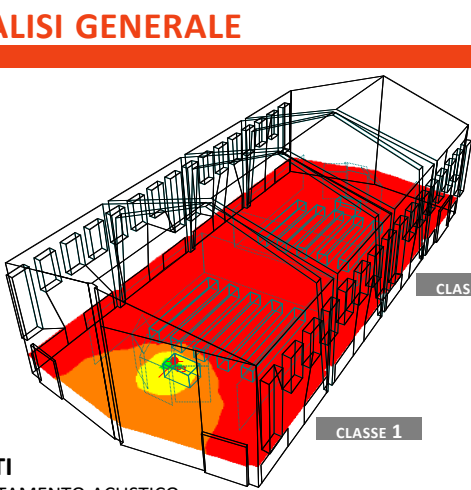
1. ANALISI GENERALE



MAPPA STI

SENZA TRATTAMENTO ACUSTICO

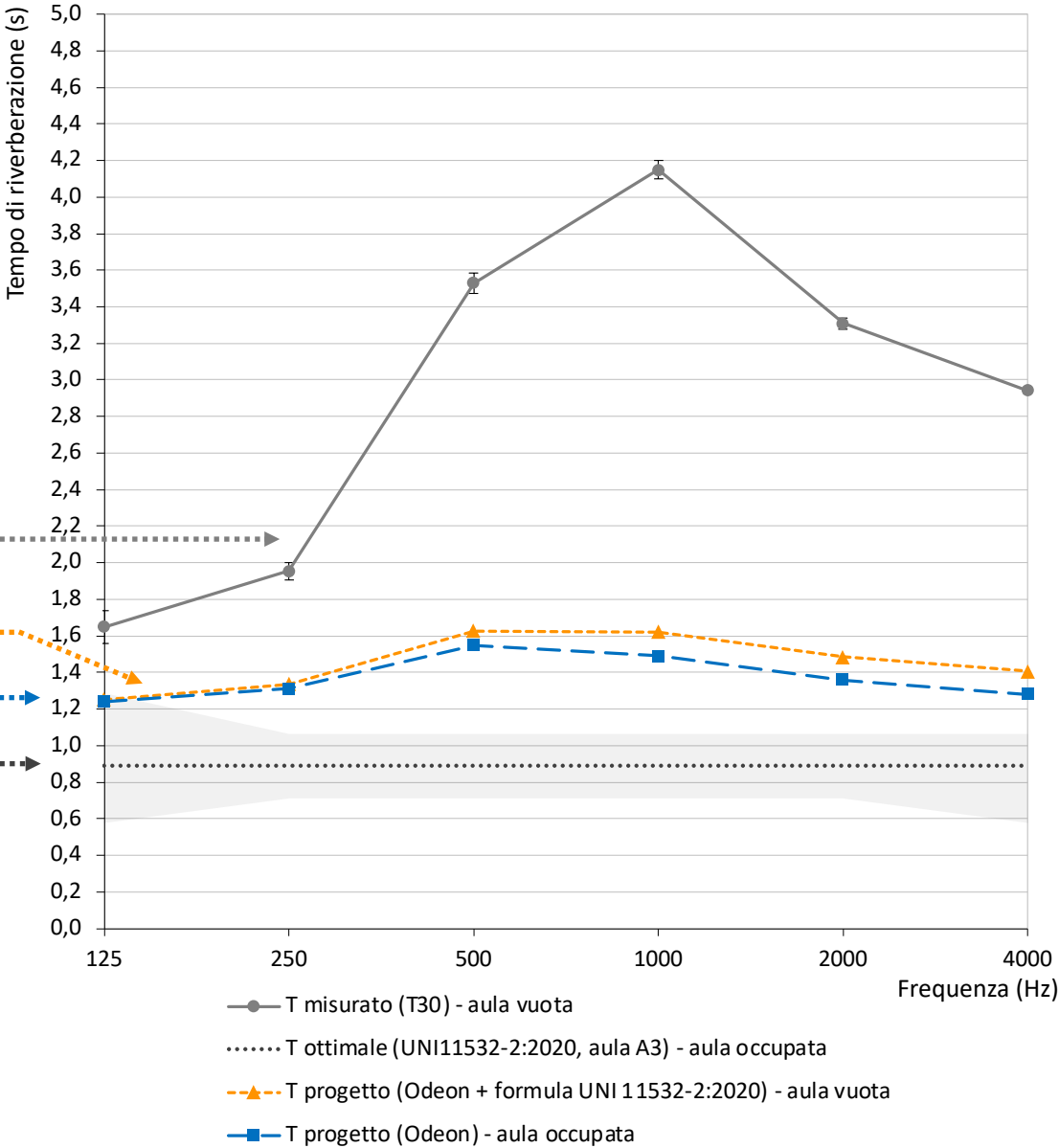
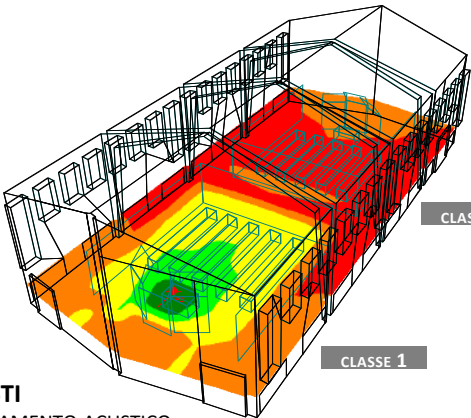
- _ sorgente P3 (insegnante seduta) nella classe 1
- _ rumore di fondo NC45 (2 classi in compresenza)



MAPPA STI

CON TRATTAMENTO ACUSTICO

- _ sorgente P3 (insegnante seduta) nella classe 1
- _ rumore di fondo NC35 (2 classi in compresenza)

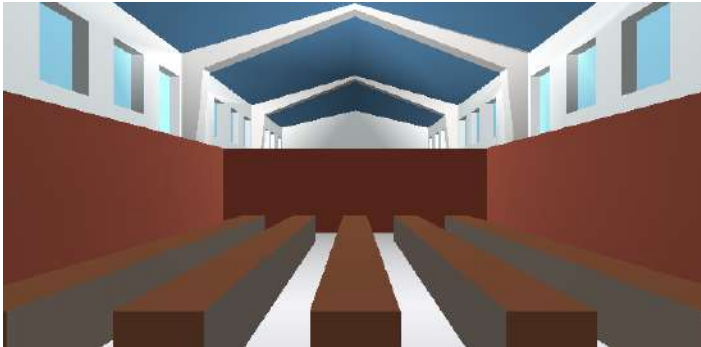


- STATO DI FATTO
- COLLAUDO
- PROGETTO
- OBIETTIVO

	Tempo di riverberazione, T (s)						T _m (250-500-1000-2000 Hz)
	125	250	500	1000	2000	4000	
T misurato (T ₃₀) - aula vuota	1,65	1,95	3,53	4,15	3,31	2,94	3,2
T ottimale (UNI11532-2:2020, aula A3) - aula occupata	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,9
T progetto (Odeon + formula UNI 11532-2:2020) - aula vuota	1,25	1,34	1,63	1,62	1,49	1,41	1,5
T progetto (Odeon) - aula occupata	1,24	1,31	1,55	1,49	1,36	1,28	1,4



CON TRATTAMENTO ACUSTICO



SENZA TRATTAMENTO ACUSTICO



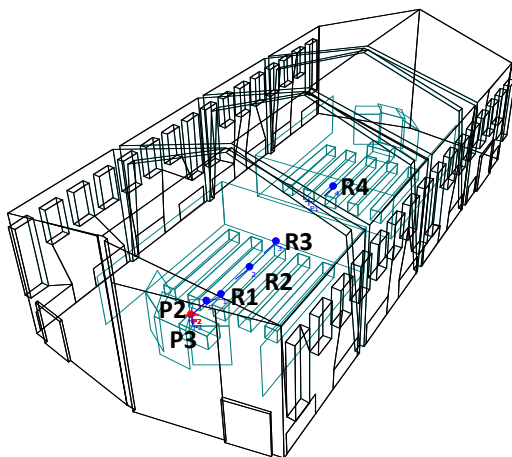
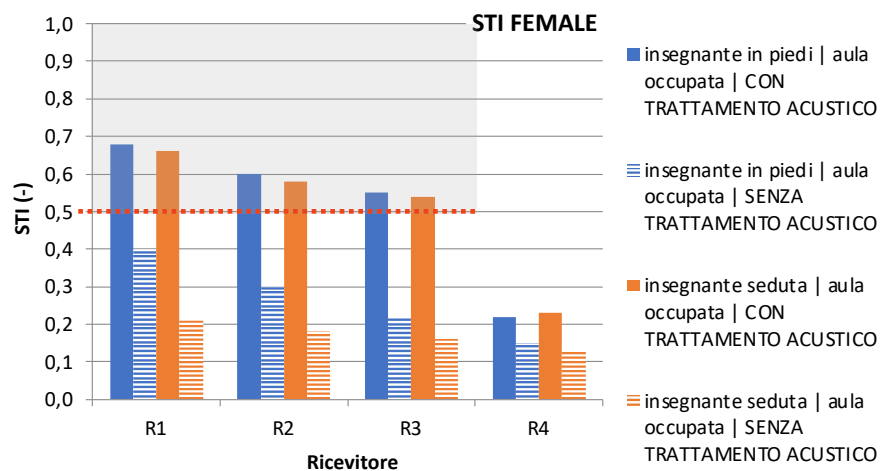
OBIETTIVO: $STI \geq 0,50$

RISULTATI: media dei valori in R1, R2 e R3. Il ricevitore in R4 non è stato considerato nella media poiché è in un altro spazio didattico: nella sua posizione il valore di STI deve essere inferiore rispetto al valore obiettivo

$STI (female)_{insegnante \text{ in piedi}} = 0,61$

$STI (female)_{insegnante \text{ seduta}} = 0,59$

..... obiettivo minimo intervallo di conformità



SORGENTI-RICEVITORI

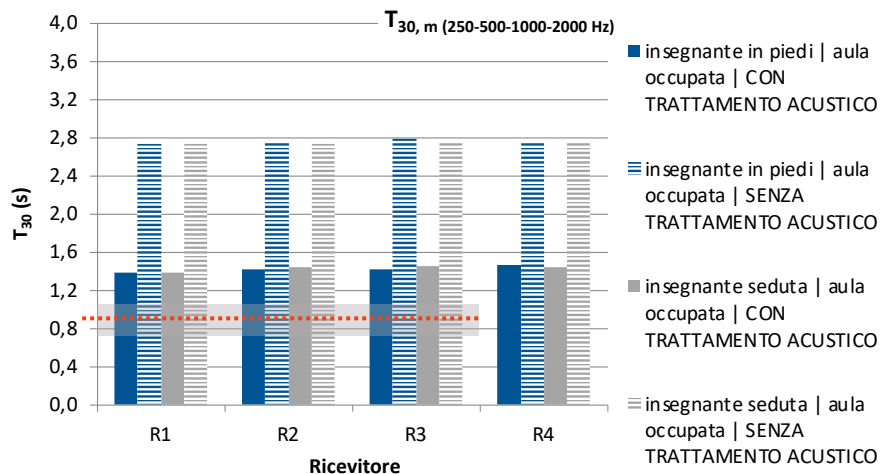
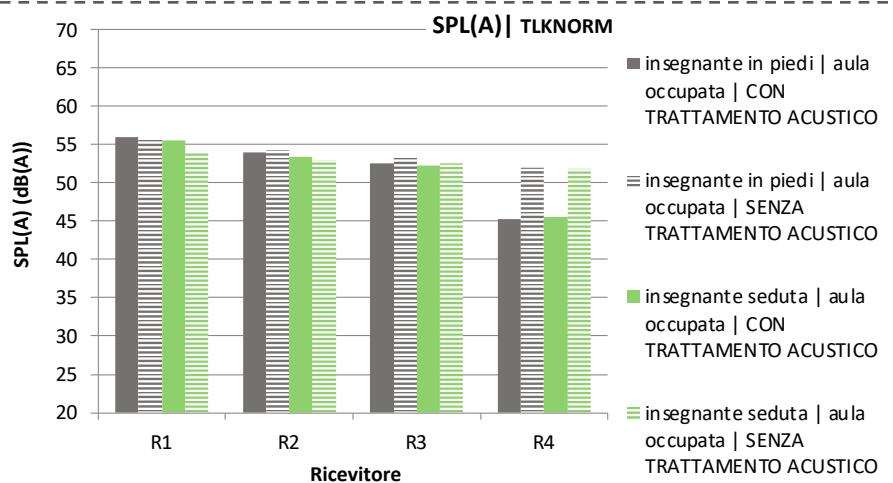
OBIETTIVO: $T_m (250-500-1000-2000 \text{ Hz}) = 0,9 \text{ s}$

RISULTATI: media dei valori in R1, R2 e R3. Il ricevitore in R4 non è stato considerato nella media poiché è in un altro spazio didattico: nella sua posizione il valore di tempo di riverberazione può essere superiore rispetto al valore obiettivo (usando come sorgente l'insegnante nello spazio didattico studiato)

$T_{30, m} (250-500-1000-2000 \text{ Hz}) = 1,4 \text{ s}$ (insegnante in piedi)

$T_{30, m} (250-500-1000-2000 \text{ Hz}) = 1,4 \text{ s}$ (insegnante seduta)

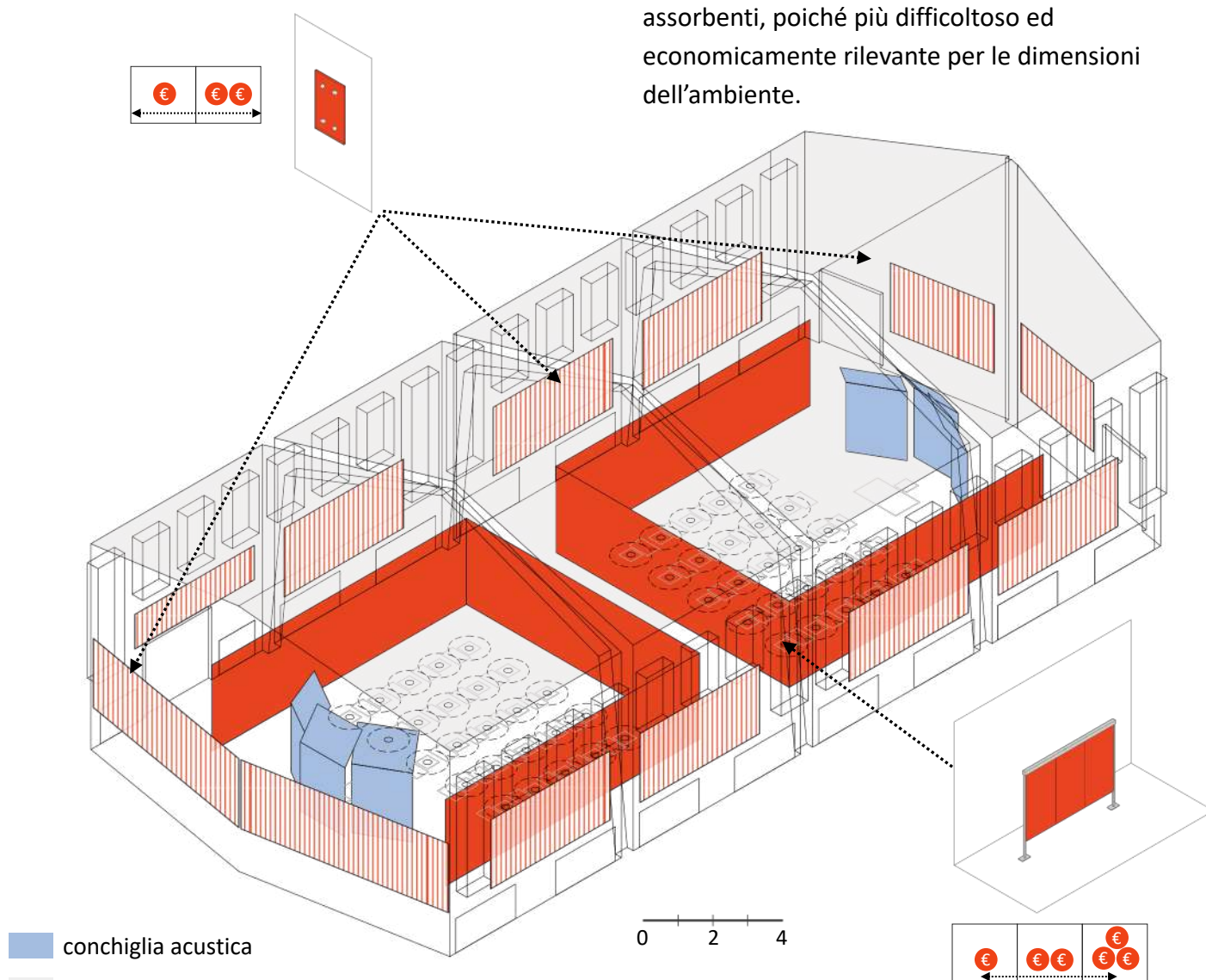
..... obiettivo intervallo di conformità





OPZIONE TRATTAMENTO ACUSTICO OTTIMALE

Poiché con il trattamento base l'ambiente risulta avere ancora un tempo di riverberazione superiore in tutte le frequenze a quello ottimale secondo UNI 11532-2:2020, è stata vagliata una soluzione alternativa, andando ad inserire pannelli fonoassorbenti sulle pareti laterali, anche se non direttamente interessate dalle prime riflessioni sonore e fuori dallo spazio dell'aula scolastica temporanea. Si è preferito non intervenire invece sul soffitto, già trattato con pannelli mediamente assorbenti, poiché più difficoltoso ed economicamente rilevante per le dimensioni dell'ambiente.



conchiglia acustica

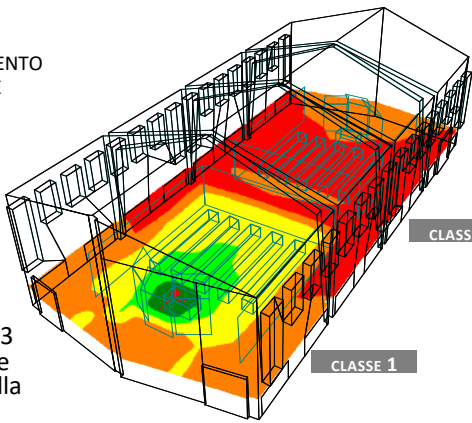
soffitto mediamente fonoassorbente (già presente)

trattamento fonoassorbente e fonoisolante (BASE): realizzando due aule temporanee in un unico spazio, il trattamento deve essere posto intorno all'area occupata dagli alunni, lasciando solo lo spazio necessario per l'entrata e l'uscita. In questo caso il trattamento è di circa **124 m²** e ha un'altezza di 2,5 m.

trattamento fonoassorbente OTTIMALE: in questa opzione sono stati valutati ulteriori **96 m²** di pannelli fonoassorbenti sulle pareti laterali.

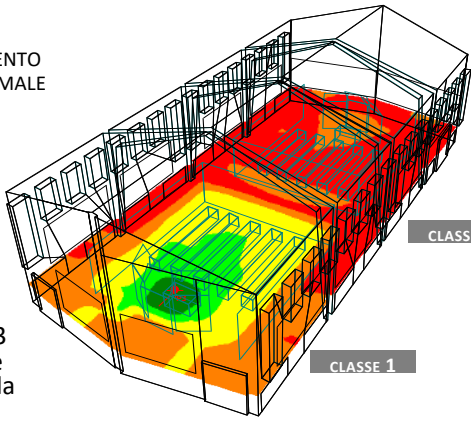
1. ANALISI GENERALE

MAPPA STI
CON TRATTAMENTO
ACUSTICO BASE

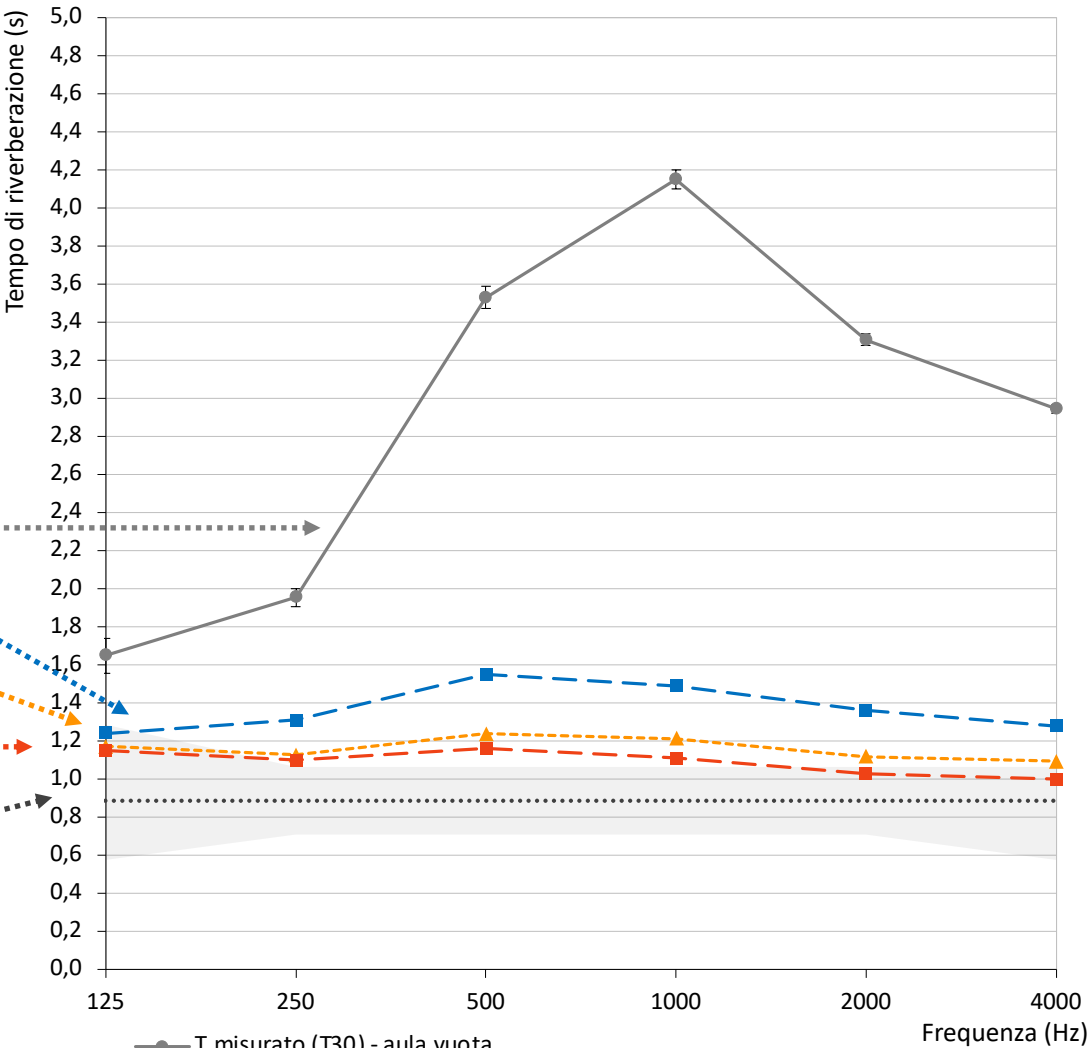
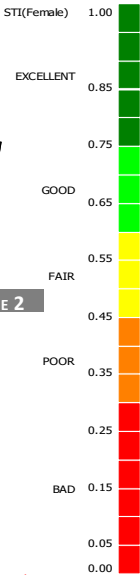


— sorgente P3
(insegnante
seduta) nella
classe 1
— rumore di fondo
NC35 (2 classi in
compresenza)

MAPPA STI
CON TRATTAMENTO
ACUSTICO OTTIMALE



— sorgente P3
(insegnante
seduta) nella
classe 1
— rumore di fondo
NC35 (2 classi in
compresenza)



- STATO DI FATTO
- PROGETTO
- COLLAUDO
- PROGETTO OTTIMALE
- OBIETTIVO

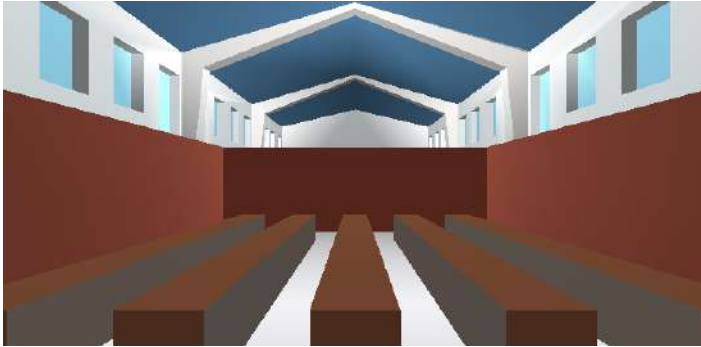
—●— T misurato (T₃₀) - aula vuota
..... T ottimale (UNI11532-2:2020, aula A3) - aula occupata
—▲— T progetto (Odeon + formula UNI 11532-2:2020) - trattamento extra - aula vuota
—■— T progetto (Odeon) - trattamento ottimale - aula occupata
—■— T progetto (Odeon) - aula occupata

	Tempo di riverberazione, T (s)						T _m (250-500-1000-2000 Hz)
	125	250	500	1000	2000	4000	
T misurato (T ₃₀) - aula vuota	1,65	1,95	3,53	4,15	3,31	2,94	3,2
T ottimale (UNI11532-2:2020, aula A3) - aula occupata	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,9
T progetto (Odeon + formula UNI 11532-2:2020) - trattamento extra - aula vuota	1,17	1,13	1,24	1,21	1,12	1,09	1,2
T progetto (Odeon) - aula occupata	1,24	1,31	1,55	1,49	1,36	1,28	1,4
T progetto (Odeon) - trattamento ottimale - aula occupata	1,15	1,10	1,16	1,11	1,03	1,00	1,1

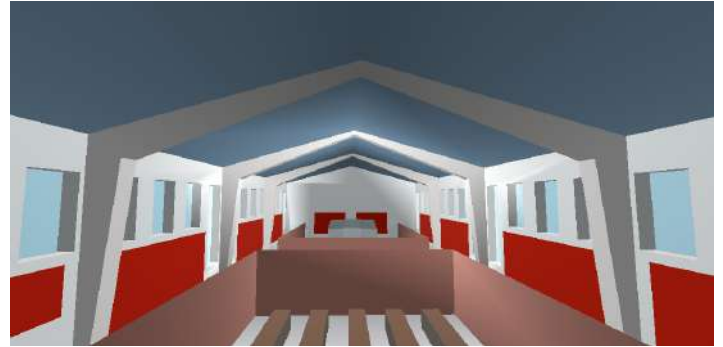




CON TRATTAMENTO ACUSTICO BASE



CON TRATTAMENTO ACUSTICO OTTIMALE



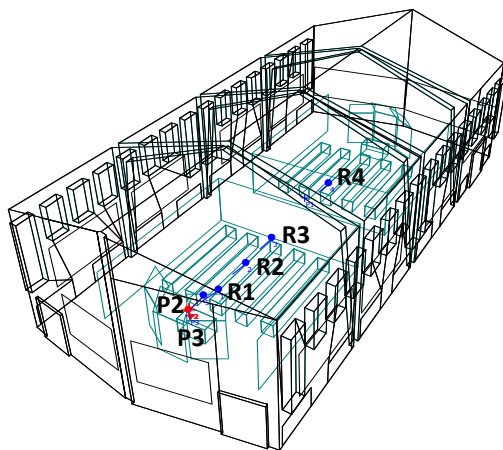
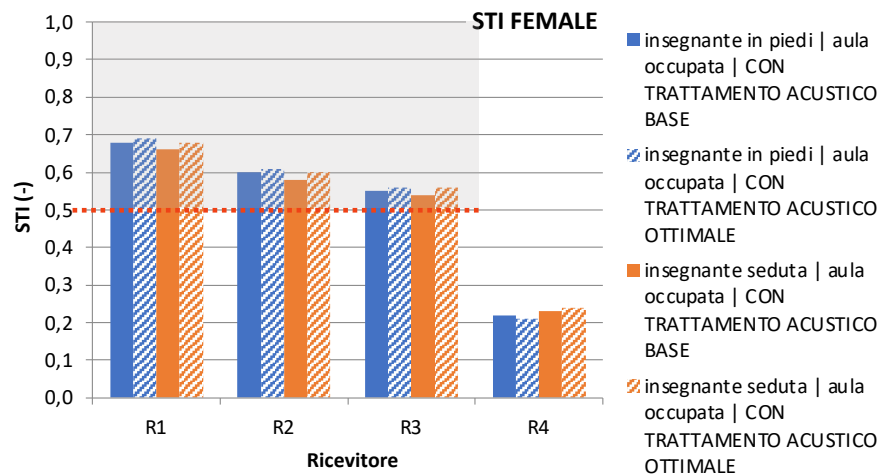
OBIETTIVO: $STI \geq 0,50$

RISULTATI: media dei valori in R1, R2 e R3. Il ricevitore in R4 non è stato considerato nella media poiché è in un altro spazio didattico: nella sua posizione il valore di STI deve essere inferiore rispetto al valore obiettivo

$STI (female)_{insegnante \text{ in piedi}} = 0,62$

$STI (female)_{insegnante \text{ seduta}} = 0,61$

..... obiettivo minimo intervallo di conformità



SORGENTI-RICEVITORI

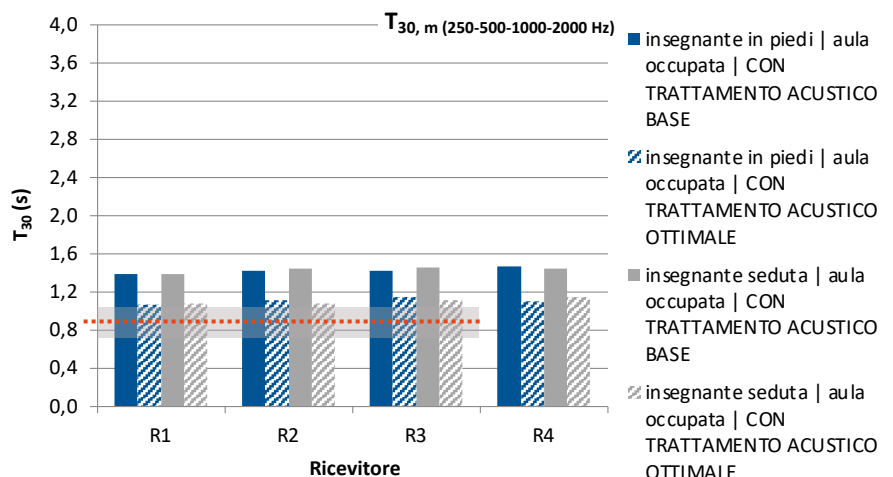
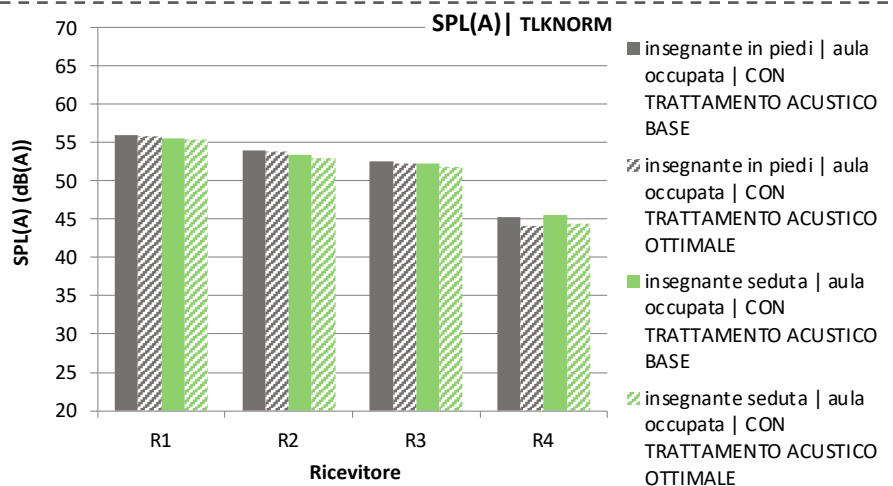
OBIETTIVO: $T_m (250-500-1000-2000 \text{ Hz}) = 0,9 \text{ s}$

RISULTATI: media dei valori in R1, R2 e R3. Il ricevitore in R4 non è stato considerato nella media poiché è in un altro spazio didattico: nella sua posizione il valore di tempo di riverberazione può essere superiore rispetto al valore obiettivo (usando come sorgente l'insegnante nello spazio didattico studiato)

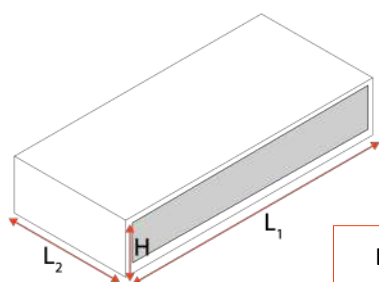
$T_{30, m} (250-500-1000-2000 \text{ Hz}) = 1,1 \text{ s}$ (insegnante in piedi)

$T_{30, m} (250-500-1000-2000 \text{ Hz}) = 1,1 \text{ s}$ (insegnante seduta)

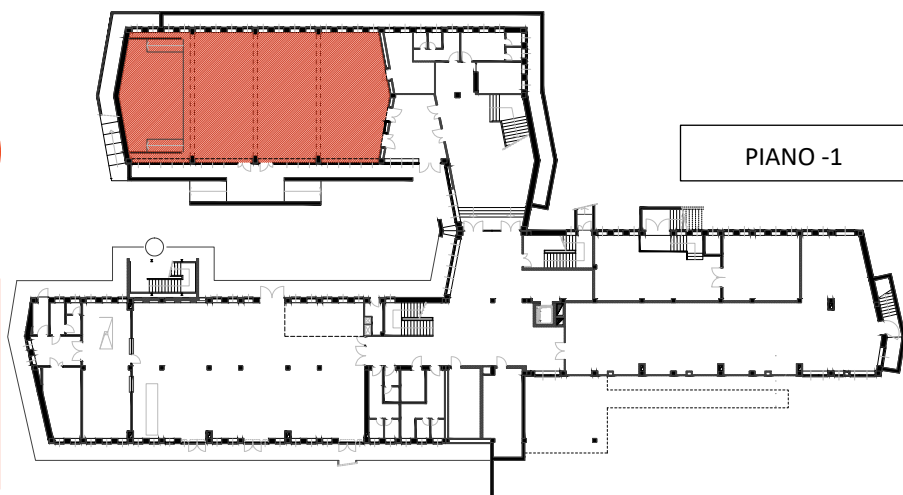
..... obiettivo intervallo di conformità



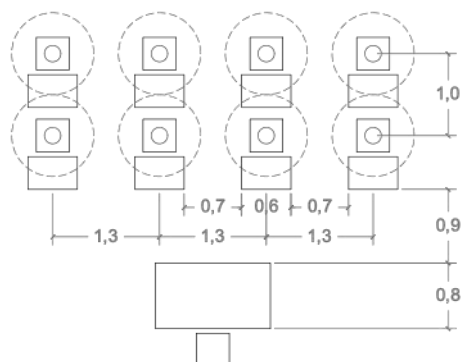
Beta Test 04 | TEATRO



$L_1 = 23,7 \text{ m}$
 $L_2 = 12,0 \text{ m}$
 $H = 3,5 \text{ m}$
 $A_{\text{pav}} = 297 \text{ m}^2$
 $V = 990 \text{ m}^3$

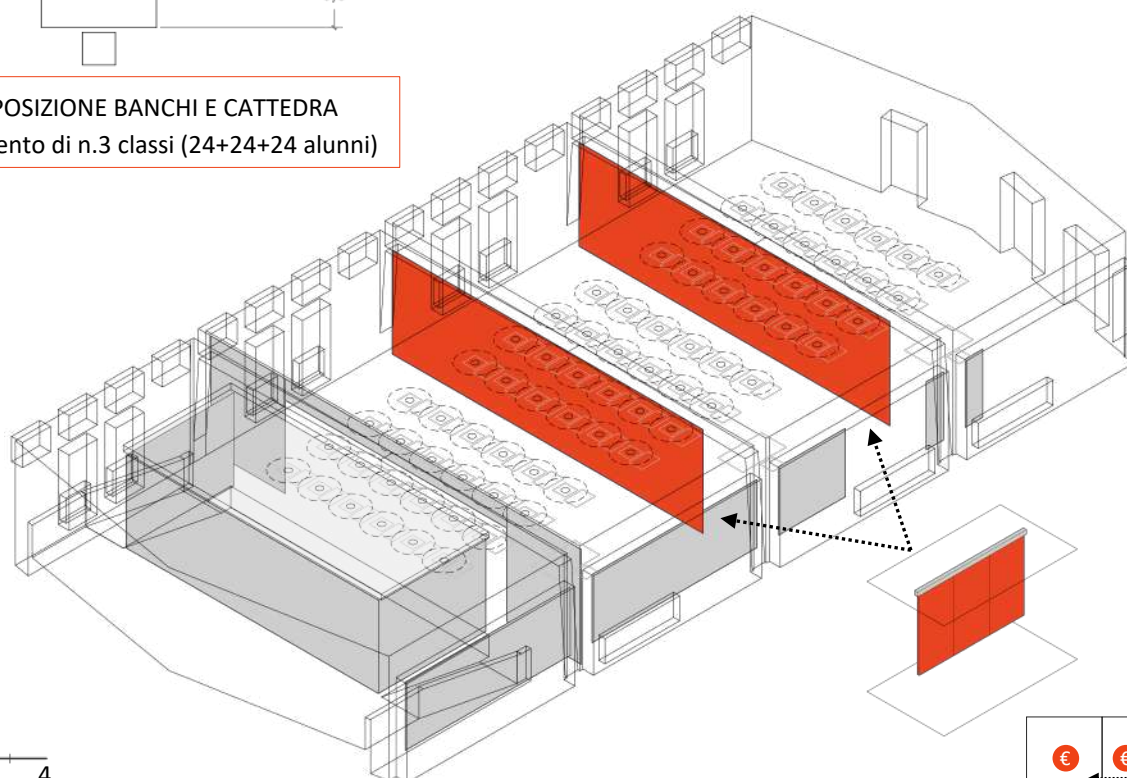


PIANO -1



DISPOSIZIONE BANCHI E CATTEDRA
 inserimento di n.3 classi (24+24+24 alunni)

- tende già presenti
- soffitto mediamente fonoassorbente (già presente, solo sul palco)
- trattamento fonoassorbente e fonoisolante: realizzando tre aule temporanee in un unico spazio, il trattamento deve essere posto intorno all'area occupata dagli alunni e a tutta altezza per realizzare ambienti separati e diminuire il più possibile la trasmissione delle voci dall'uno all'altro. In questo caso il trattamento è di circa **58 m²** e i pannelli a baffle chiudono tutta l'altezza, come dei tendaggi.



0 2 4



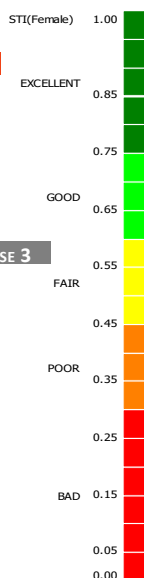
1. ANALISI GENERALE



MAPPA STI

SENZA TRATTAMENTO ACUSTICO

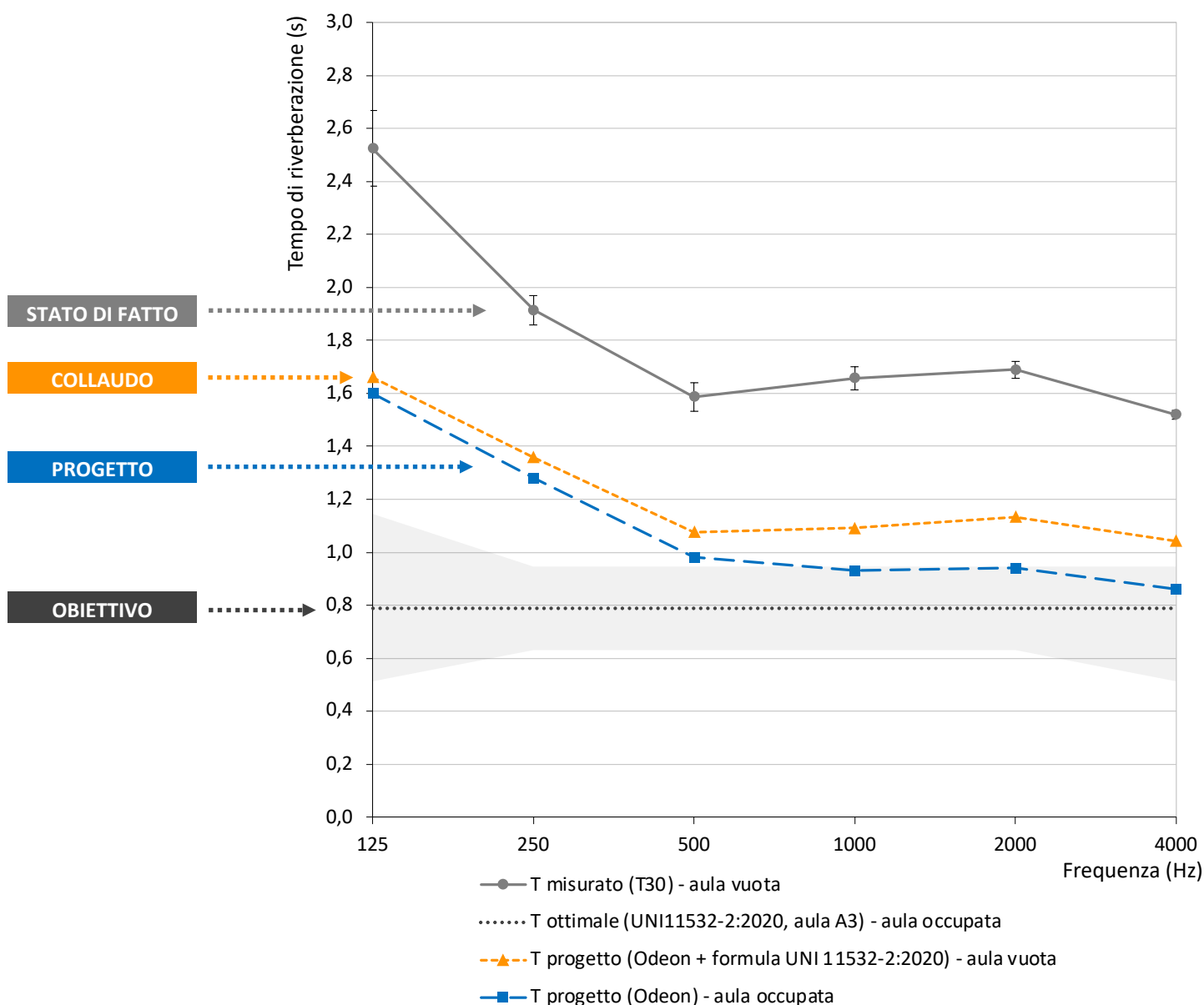
_ sorgente P3 (insegnante seduta) nella classe 2
_ rumore di fondo NC50 (3 classi in compresenza)



MAPPA STI

CON TRATTAMENTO ACUSTICO

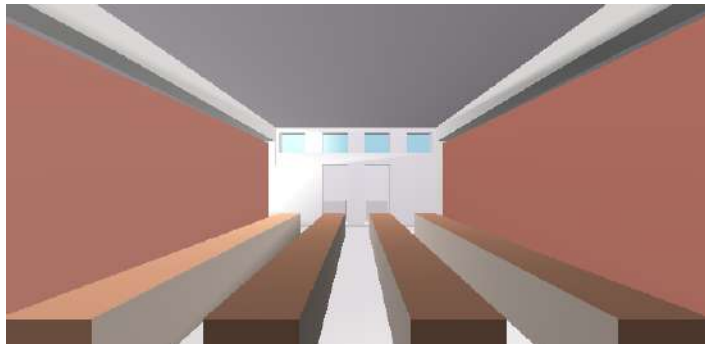
_ sorgente P3 (insegnante seduta) nella classe 2
_ rumore di fondo NC40 (3 classi in compresenza)



	Tempo di riverberazione, T (s)						
	125	250	500	1000	2000	4000	T _m (250-500-1000-2000 Hz)
T misurato (T ₃₀) - aula vuota	2,52	1,91	1,59	1,66	1,69	1,52	1,7
T ottimale (UNI11532-2:2020, aula A3) - aula occupata	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,8
T progetto (Odeon + formula UNI 11532-2:2020) - aula vuota	1,66	1,36	1,08	1,09	1,13	1,04	1,2
T progetto (Odeon) - aula occupata	1,60	1,28	0,98	0,93	0,94	0,86	1,0



CON TRATTAMENTO ACUSTICO



SENZA TRATTAMENTO ACUSTICO



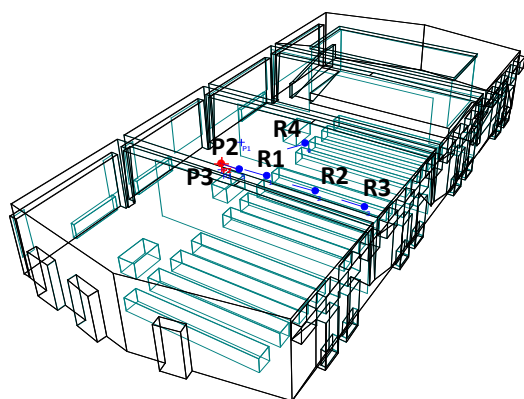
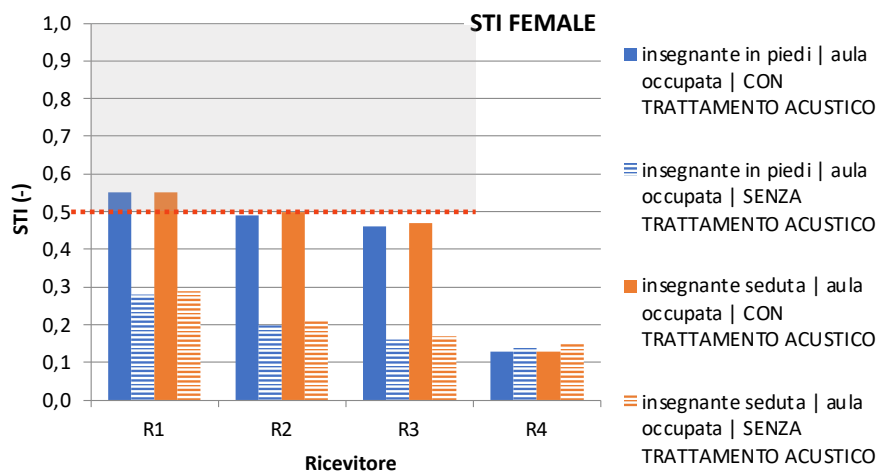
OBIETTIVO: $STI \geq 0,50$

RISULTATI: media dei valori in R1, R2 e R3. Il ricevitore in R4 non è stato considerato nella media poiché è in un altro spazio didattico: nella sua posizione il valore di STI deve essere inferiore rispetto al valore obiettivo

$STI (female)_{insegnante \text{ in piedi}} = 0,50$

$STI (female)_{insegnante \text{ seduta}} = 0,51$

..... obiettivo minimo intervallo di conformità



SORGENTI-RICEVITORI

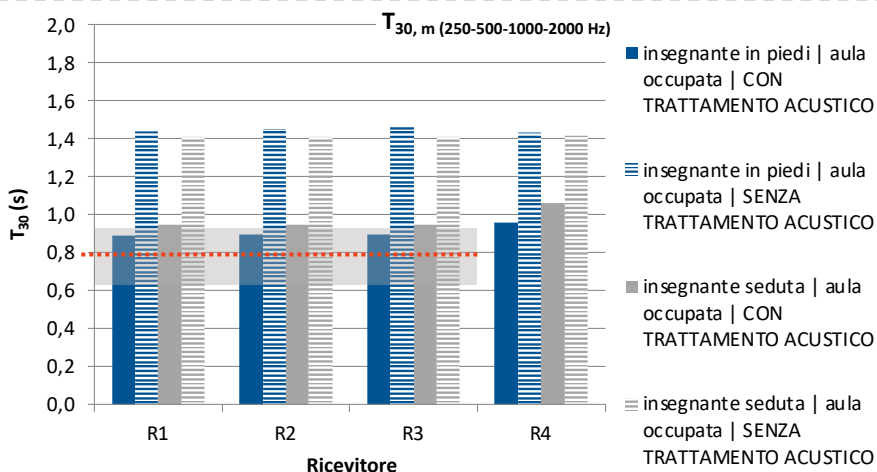
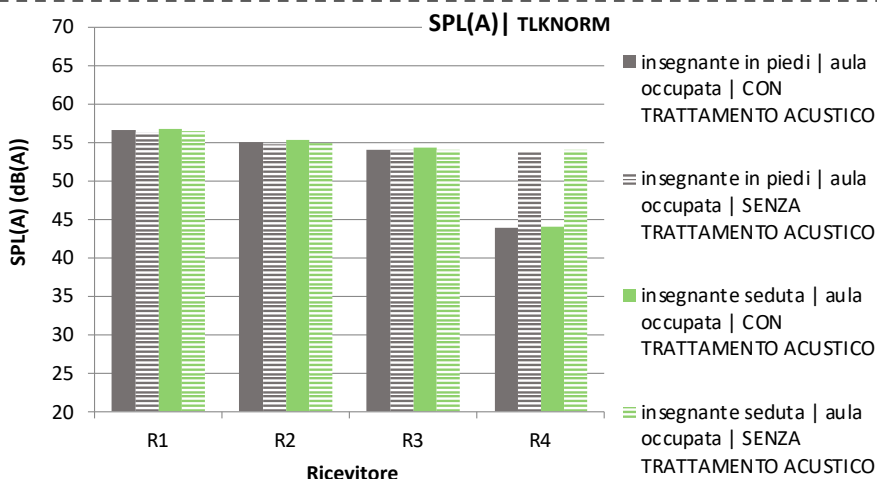
OBIETTIVO: $T_m (250-500-1000-2000 \text{ Hz}) = 0,8 \text{ s}$

RISULTATI: media dei valori in R1, R2 e R3. Il ricevitore in R4 non è stato considerato nella media poiché è in un altro spazio didattico: nella sua posizione il valore di tempo di riverberazione può essere superiore rispetto al valore obiettivo (usando come sorgente l'insegnante nello spazio didattico studiato)

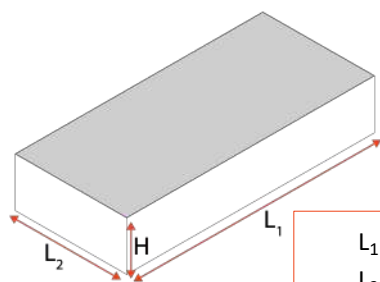
$T_{30, m} (250-500-1000-2000 \text{ Hz}) = 0,9 \text{ s}$ (insegnante in piedi)

$T_{30, m} (250-500-1000-2000 \text{ Hz}) = 0,9 \text{ s}$ (insegnante seduta)

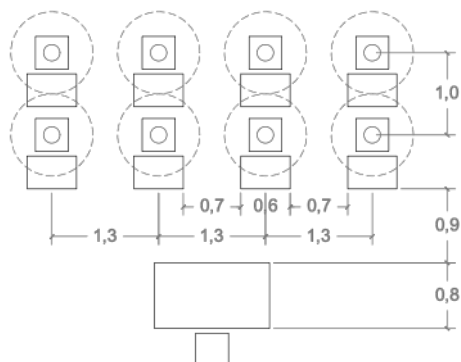
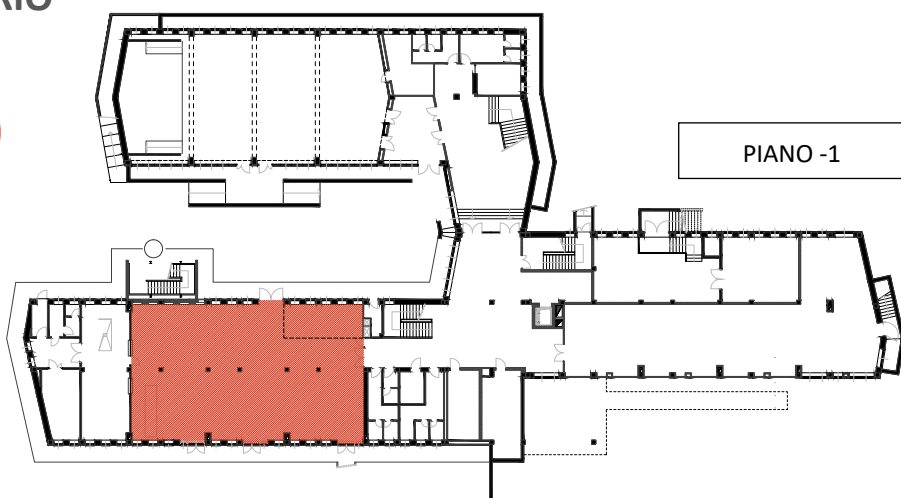
..... obiettivo intervallo di conformità



Beta Test 04 | REFETTORIO

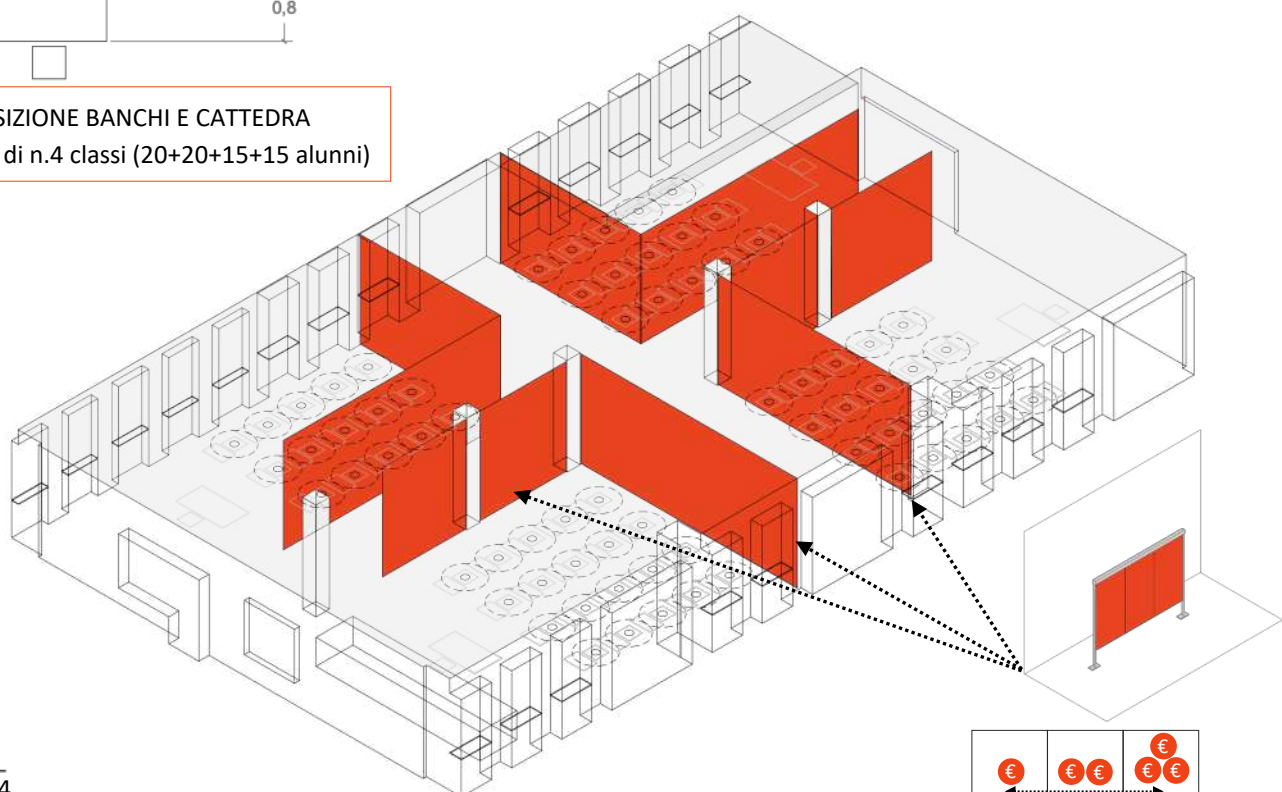


$L_1 = 22,0 \text{ m}$
 $L_2 = 12,9 \text{ m}$
 $H = 2,9 \text{ m}$
 $H \text{ ribassata} = 2,6 \text{ m}$
 $A_{\text{pav}} = 287 \text{ m}^2$
 $V = 832 \text{ m}^3$



DISPOSIZIONE BANCHI E CATTEDRA
 inserimento di n.4 classi (20+20+15+15 alunni)

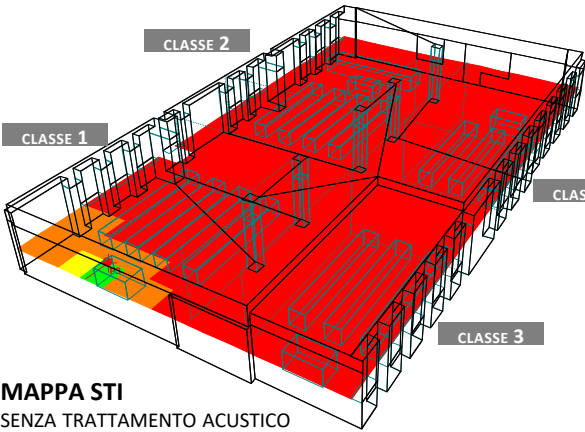
- soffitto mediamente fonoassorbente (già presente)
- trattamento fonoassorbente e fonoisolante: realizzando quattro aule temporanee in un unico spazio, il trattamento deve essere posto intorno all'area occupata dagli alunni e a tutta altezza per realizzare ambienti separati e diminuire il più possibile la trasmissione delle voci dall'uno all'altro. In questo caso il trattamento è di circa **126 m²**.



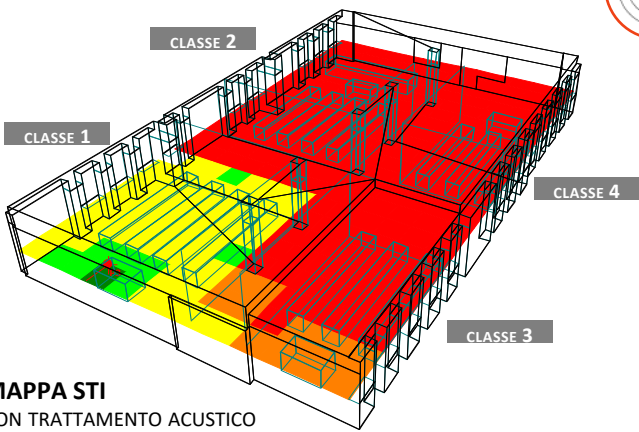
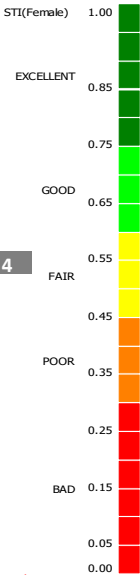
0 2 4



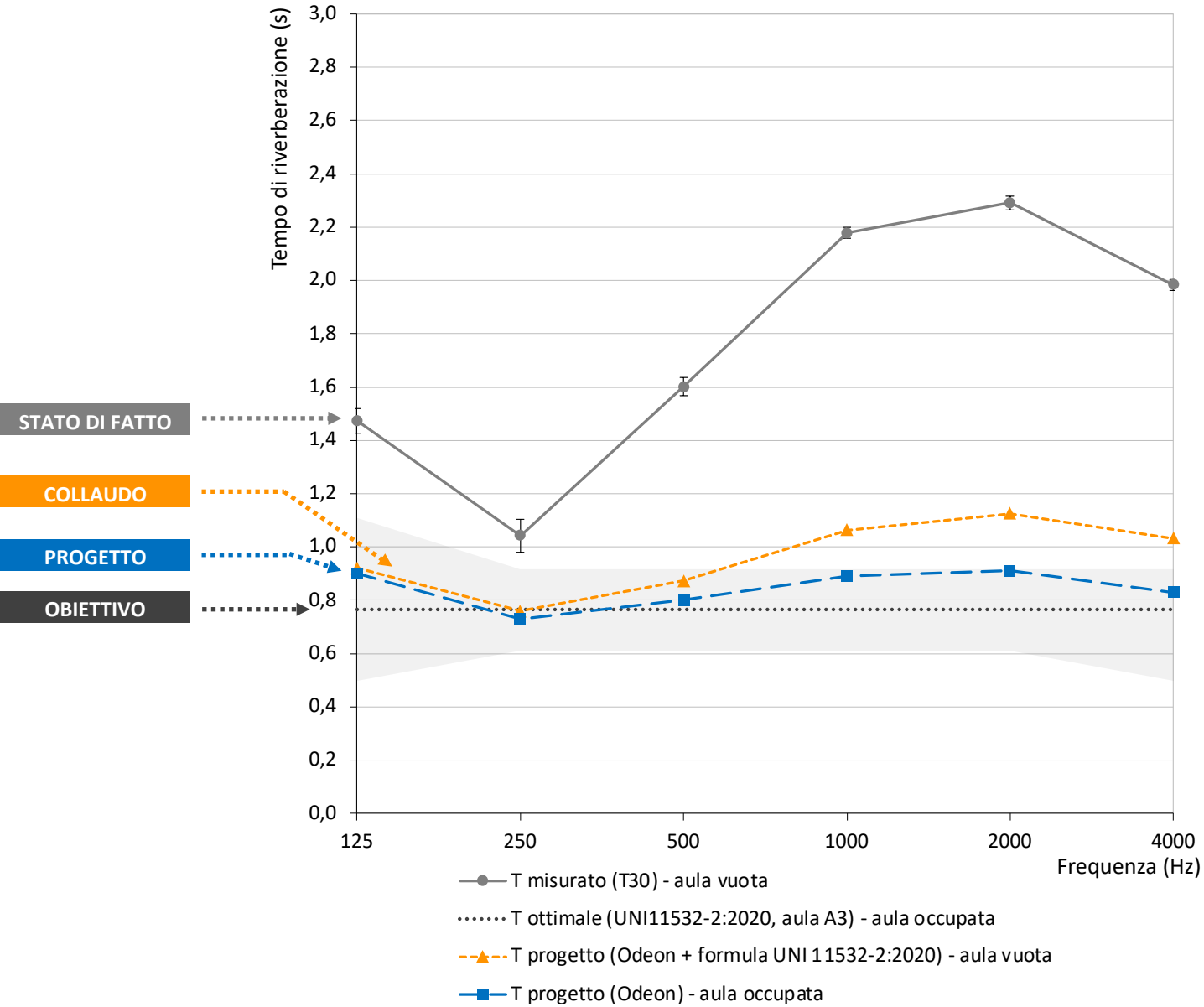
1. ANALISI GENERALE



MAPPA STI
SENZA TRATTAMENTO ACUSTICO
_ sorgente P3 (insegnante seduta) nella classe 1
_ rumore di fondo NC50 (4 classi in compresenza)



MAPPA STI
CON TRATTAMENTO ACUSTICO
_ sorgente P3 (insegnante seduta) nella classe 1
_ rumore di fondo NC40 (4 classi in compresenza)



	Tempo di riverberazione, T (s)						T _m (250-500-1000-2000 Hz)
	125	250	500	1000	2000	4000	
T misurato (T ₃₀) - aula vuota	1,47	1,04	1,60	2,18	2,29	1,98	1,8
T ottimale (UNI11532-2:2020, aula A3) - aula occupata	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,8
T progetto (Odeon + formula UNI 11532-2:2020) - aula vuota	0,92	0,76	0,87	1,06	1,13	1,03	1,0
T progetto (Odeon) - aula occupata	0,90	0,73	0,80	0,89	0,91	0,83	0,8



CON TRATTAMENTO ACUSTICO



SENZA TRATTAMENTO ACUSTICO



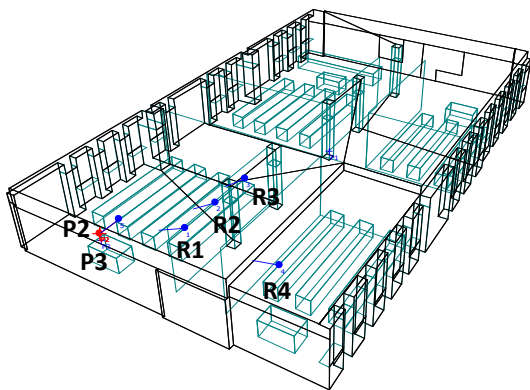
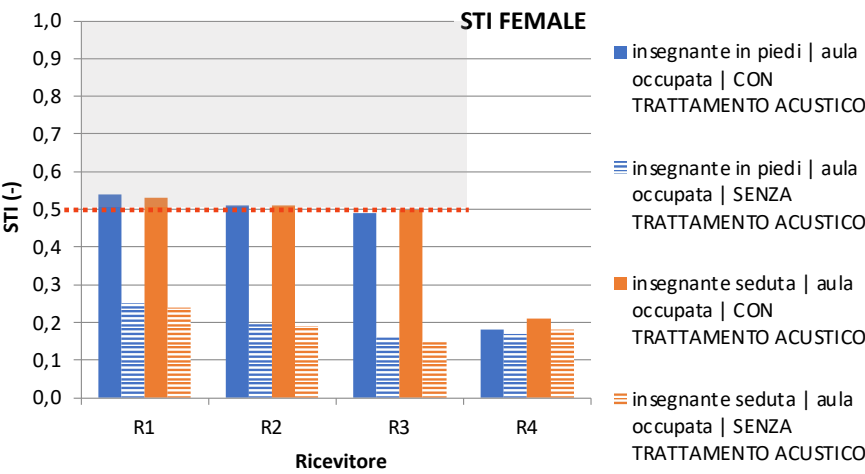
OBIETTIVO: $STI \geq 0,50$

RISULTATI: media dei valori in R1, R2 e R3. Il ricevitore in R4 non è stato considerato nella media poiché è in un altro spazio didattico: nella sua posizione il valore di STI deve essere inferiore rispetto al valore obiettivo

$STI (female)_{insegnante \text{ in piedi}} = 0,51$

$STI (female)_{insegnante \text{ seduta}} = 0,51$

..... obiettivo minimo intervallo di conformità



SORGENTI-RICEVITORI

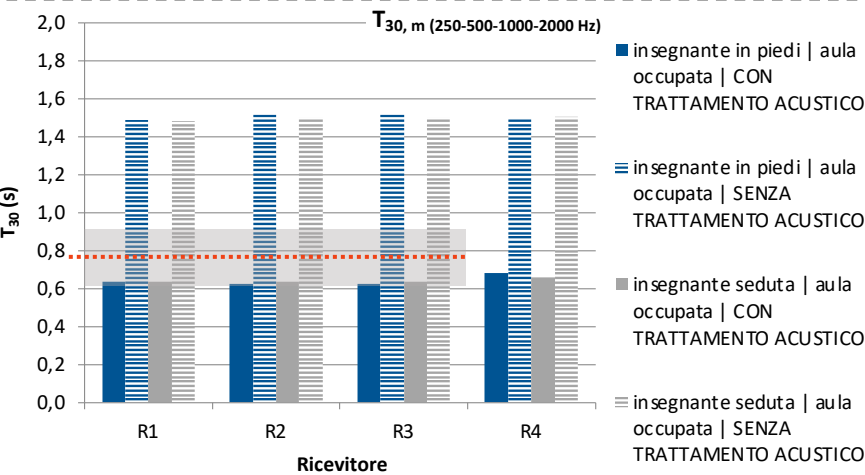
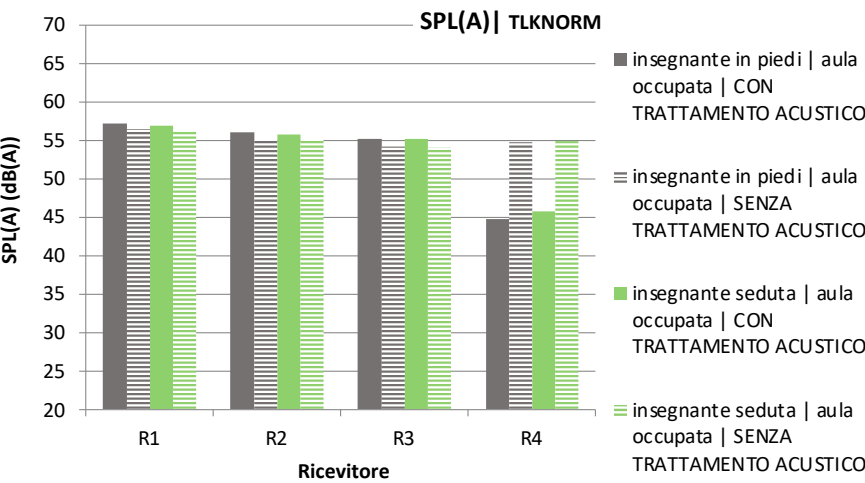
OBIETTIVO: $T_m (250-500-1000-2000 \text{ Hz}) = 0,8 \text{ s}$

RISULTATI: media dei valori in R1, R2 e R3. Il ricevitore in R4 non è stato considerato nella media poiché è in un altro spazio didattico: nella sua posizione il valore di tempo di riverberazione può essere superiore rispetto al valore obiettivo (usando come sorgente l'insegnante nello spazio didattico studiato)

$T_{30, m} (250-500-1000-2000 \text{ Hz}) = 0,6 \text{ s}$ (insegnante in piedi)

$T_{30, m} (250-500-1000-2000 \text{ Hz}) = 0,6 \text{ s}$ (insegnante seduta)

..... obiettivo intervallo di conformità



DETTAGLI

via Valenza 71, Torino

DESCRIZIONE

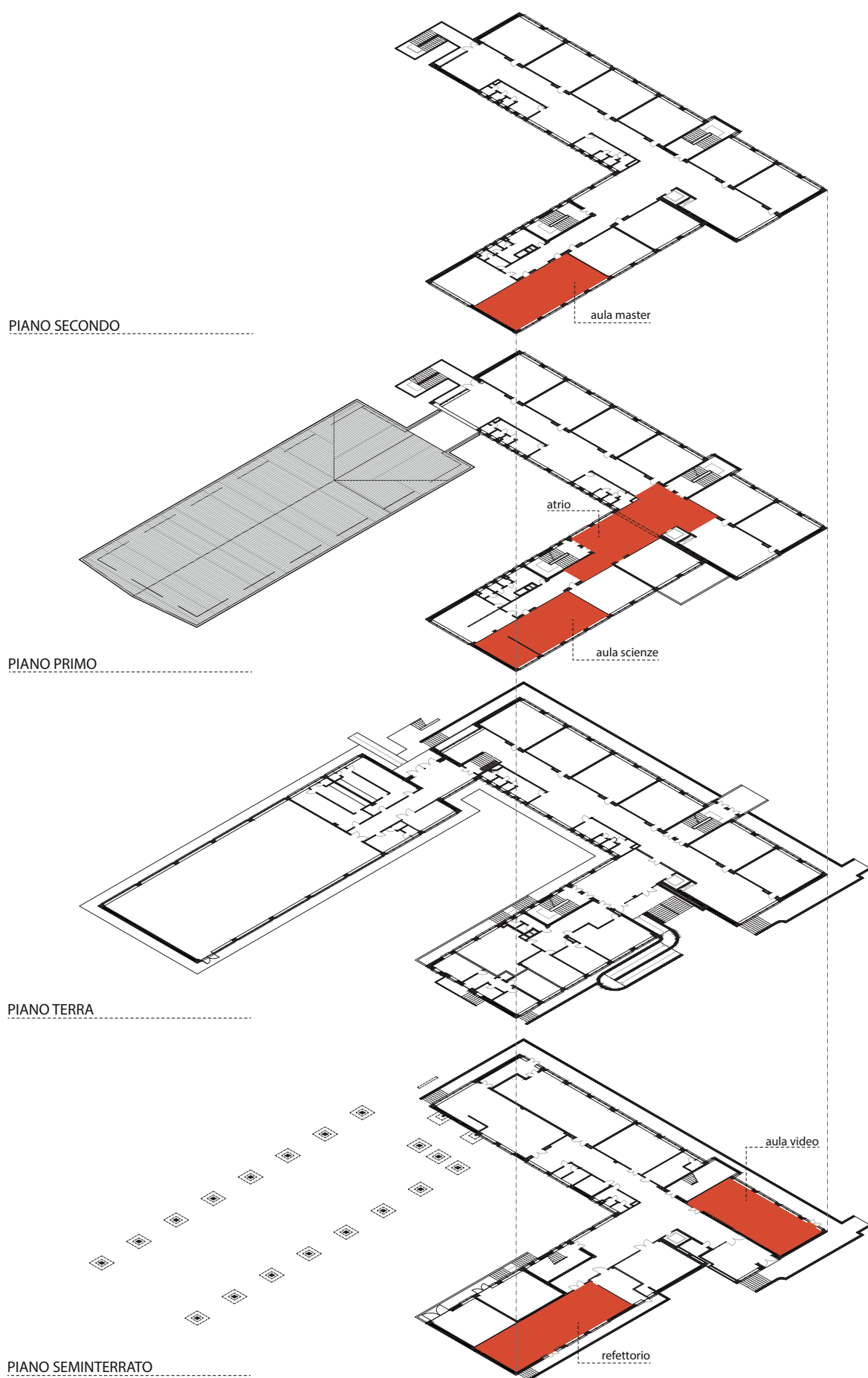
Edificio di tre piani fuori terra e un piano seminterrato, in mattoni e struttura in calcestruzzo armato, simile, per divisione interna degli spazi e tecnica costruttiva, alla scuola primaria «Re Umberto I» dello stesso Istituto comprensivo, edificata nello steso isolato.

È presente una palestra, costruita come un corpo distaccato con copertura a capanna, collegata all'edificio principale.

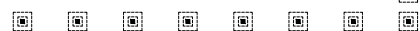


Refettorio	371 m ³
Aula Video	298 m ³
Atrio*	398 m ³
Aula Scienze	311 m ³
Aula Master	310 m ³

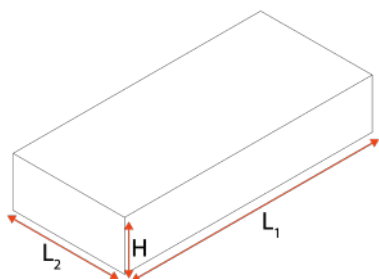
** il volume è approssimativo: trattandosi di un ambiente aperto sono state stimate delle ipotetiche pareti di chiusura, considerate fonoassorbenti all'80%, per la realizzazione del modello di simulazione acustica. Il volume è quindi superiore rispetto allo spazio di effettivo utilizzo per l'ambiente didattico temporaneo*



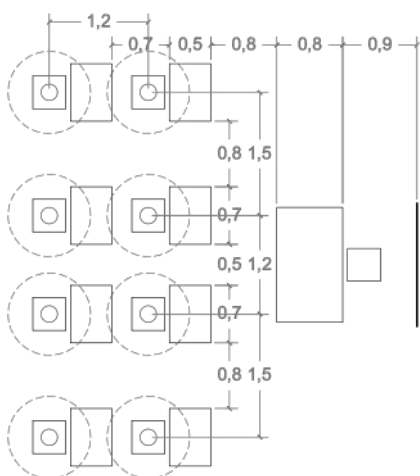
Beta Test 05 | REFETTORIO



PIANO SEMINTERRATO



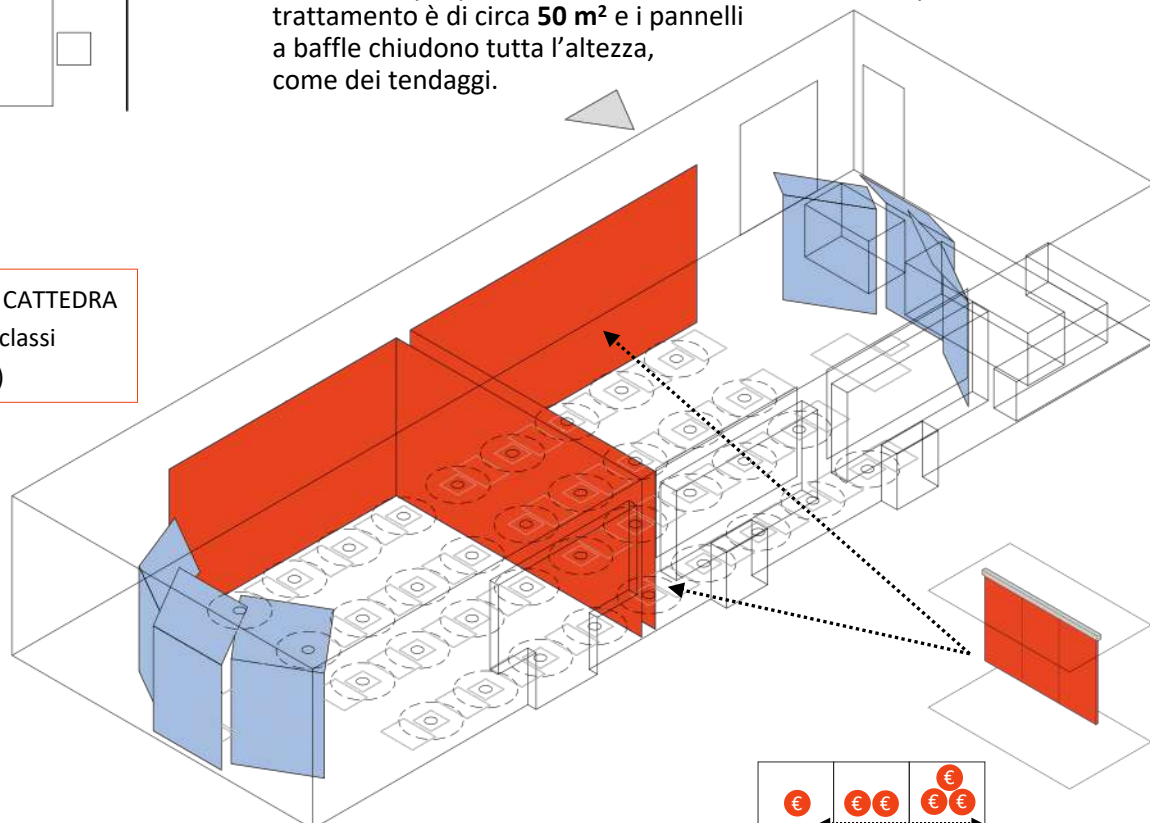
$L_1 = 18,3 \text{ m}$
 $L_2 = 6,6 \text{ m}$
 $H = 3,0 \text{ m}$
 $A_{pav} = 122 \text{ m}^2$
 $V = 371 \text{ m}^3$



DISPOSIZIONE BANCHI E CATTEDRA
 inserimento di n.2 classi
 (20+16 alunni)

conchiglia acustica

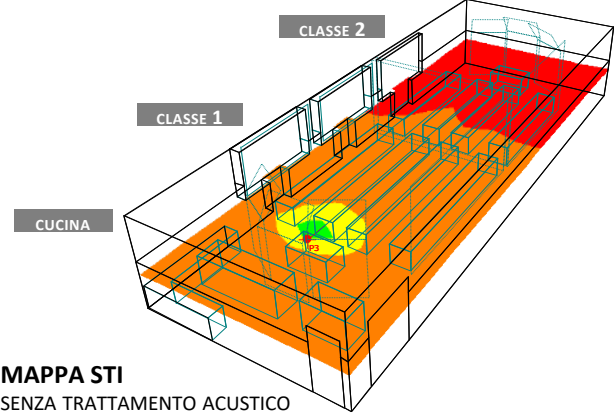
treatmento fonoassorbente e fonoisolante: realizzando due aule temporanee in un unico spazio, il treatmento deve essere posto intorno all'area occupata dagli alunni, lasciando solo lo spazio necessario per l'entrata e l'uscita, cercando di chiuderlo il più possibile in altezza per diminuire il più possibile la trasmissione delle voci. In questo caso il treatmento è di circa **50 m²** e i pannelli a baffle chiudono tutta l'altezza, come dei tendaggi.



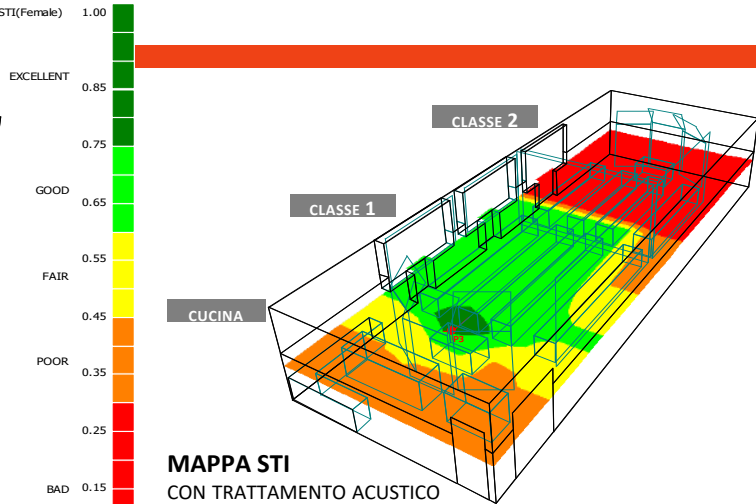
0 2 4



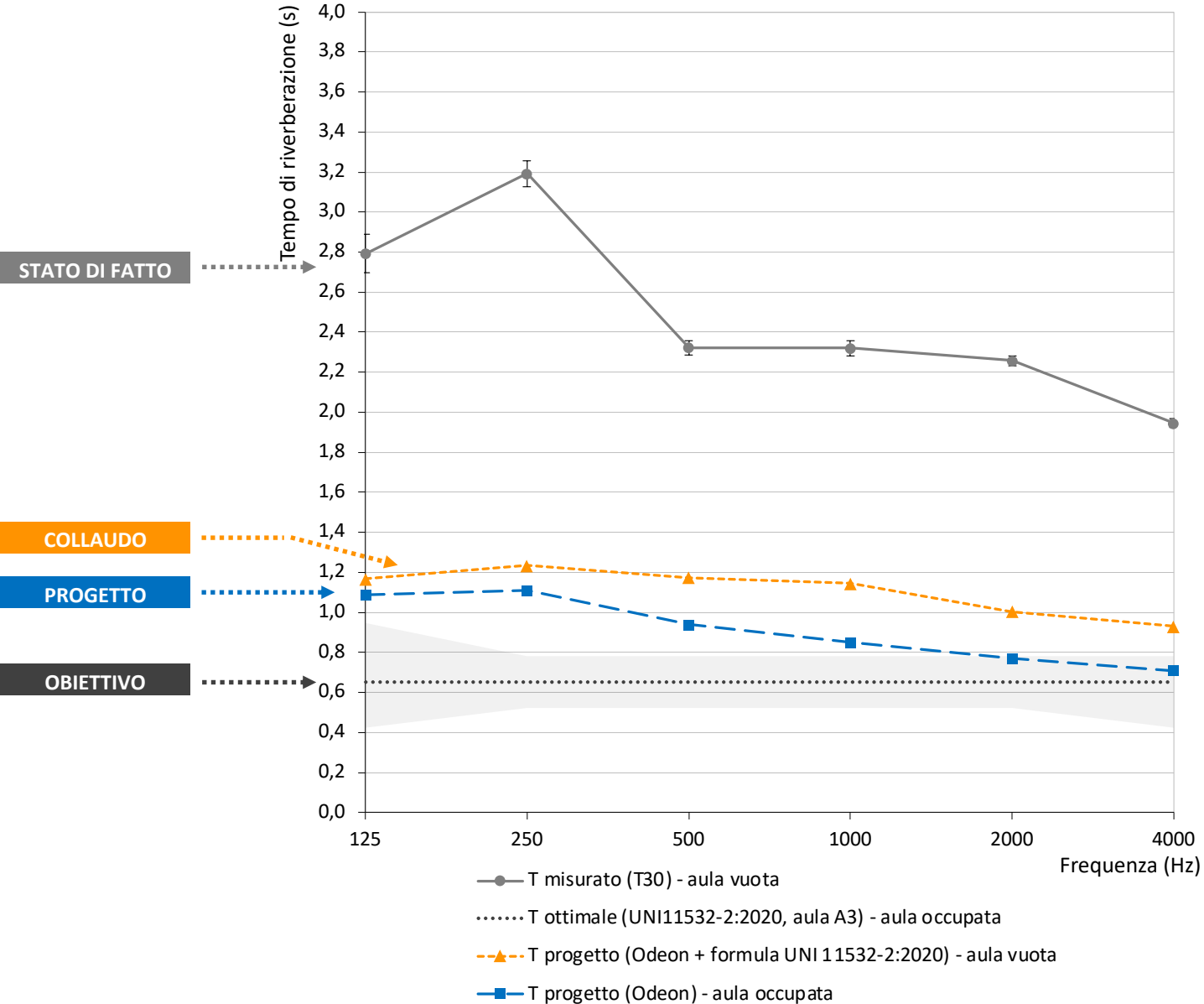
1. ANALISI GENERALE



MAPPA STI
SENZA TRATTAMENTO ACUSTICO
_ sorgente P3 (insegnante seduta) nella classe 1
_ rumore di fondo NC45 (2 classi in compresenza)



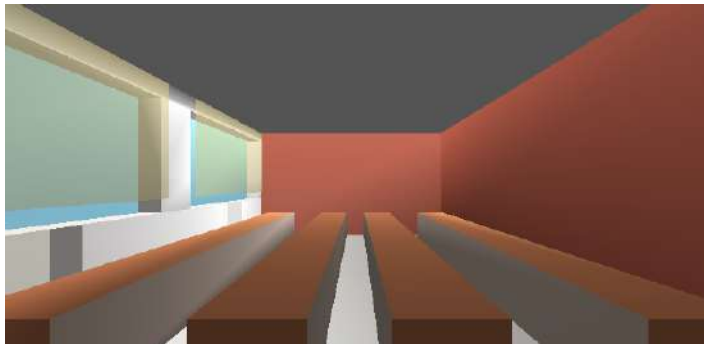
MAPPA STI
CON TRATTAMENTO ACUSTICO
_ sorgente P3 (insegnante seduta) nella classe 1
_ rumore di fondo NC35 (2 classi in compresenza)



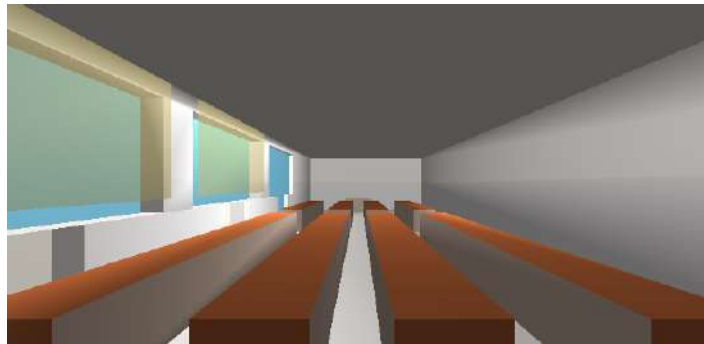
	Tempo di riverberazione, T (s)						T _m (250-500-1000-2000 Hz)
	125	250	500	1000	2000	4000	
T misurato (T ₃₀) - aula vuota	2,79	3,19	2,32	2,32	2,26	1,95	2,5
T ottimale (UNI11532-2:2020, aula A3) - aula occupata	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,7
T progetto (Odeon + formula UNI 11532-2:2020) - aula vuota	1,17	1,23	1,17	1,15	1,00	0,93	1,1
T progetto (Odeon) - aula occupata	1,09	1,11	0,94	0,85	0,77	0,71	0,9



CON TRATTAMENTO ACUSTICO



SENZA TRATTAMENTO ACUSTICO



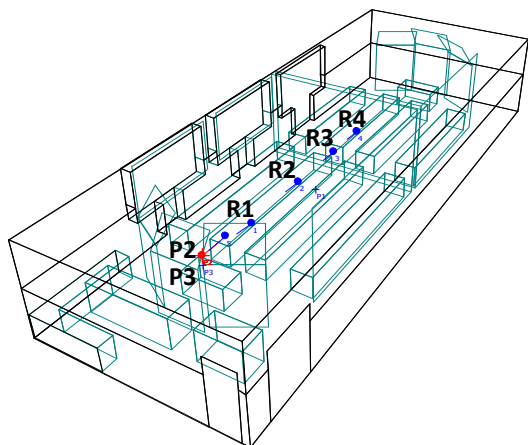
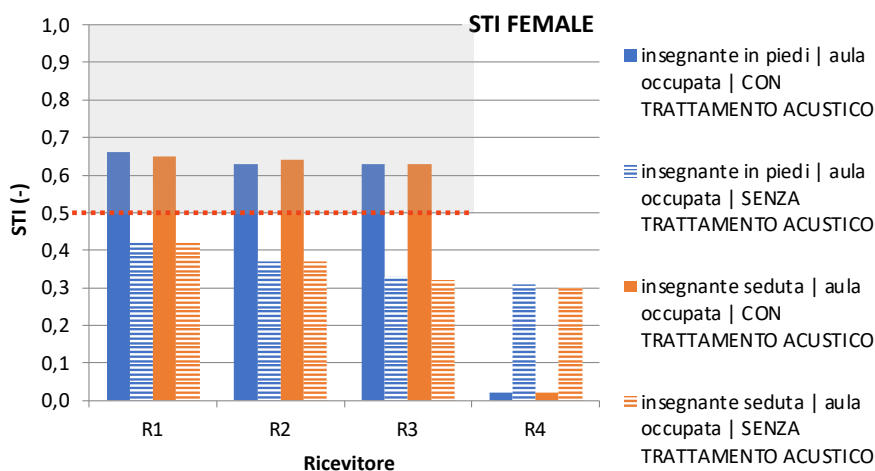
OBIETTIVO: $STI \geq 0,50$

RISULTATI: media dei valori in R1, R2 e R3. Il ricevitore in R4 non è stato considerato nella media poiché è in un altro spazio didattico: nella sua posizione il valore di STI deve essere inferiore rispetto al valore obiettivo

STI (female)_{insegnante in piedi} = 0,64

STI (female)_{insegnante seduta} = 0,64

..... obiettivo minimo intervallo di conformità



SORGENTI-RICEVITORI

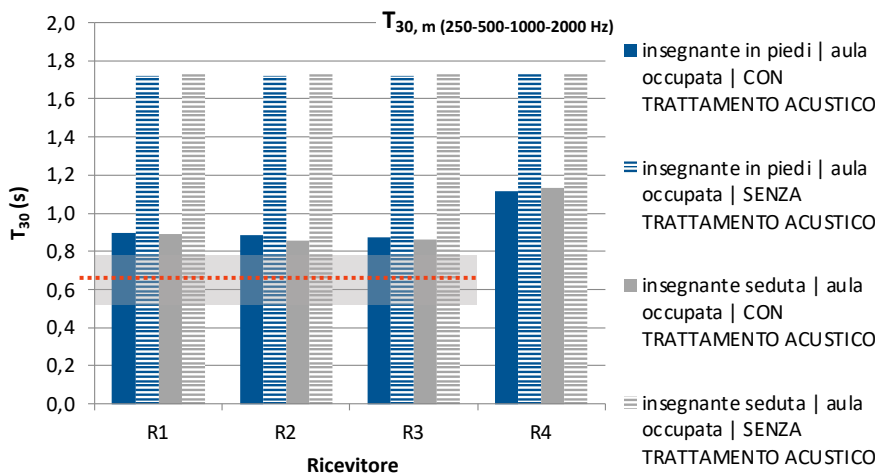
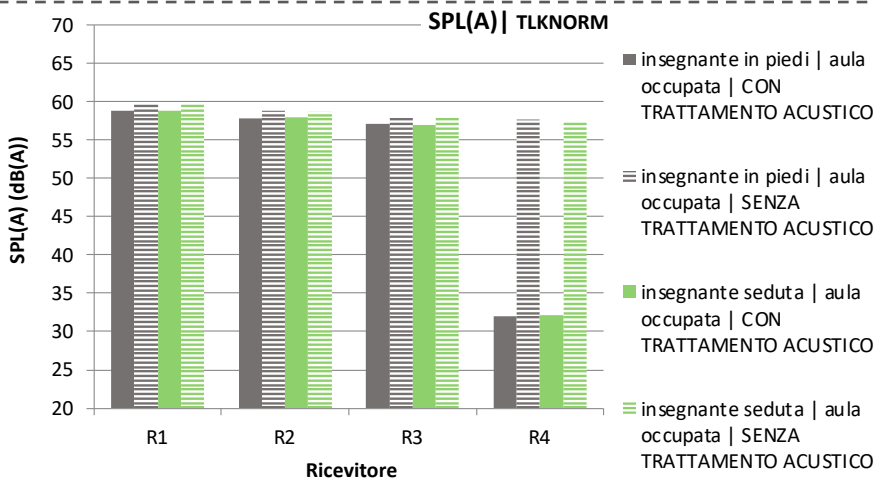
OBIETTIVO: $T_{30, m} (250-500-1000-2000 \text{ Hz}) = 0,7 \text{ s}$

RISULTATI: media dei valori in R1, R2 e R3. Il ricevitore in R4 non è stato considerato nella media poiché è in un altro spazio didattico: nella sua posizione il valore di tempo di riverberazione può essere superiore rispetto al valore obiettivo (usando come sorgente l'insegnante nello spazio didattico studiato)

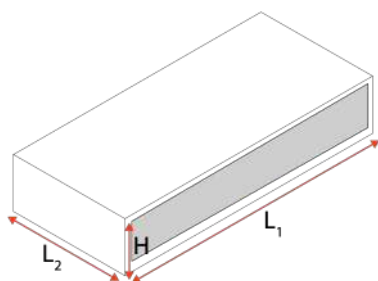
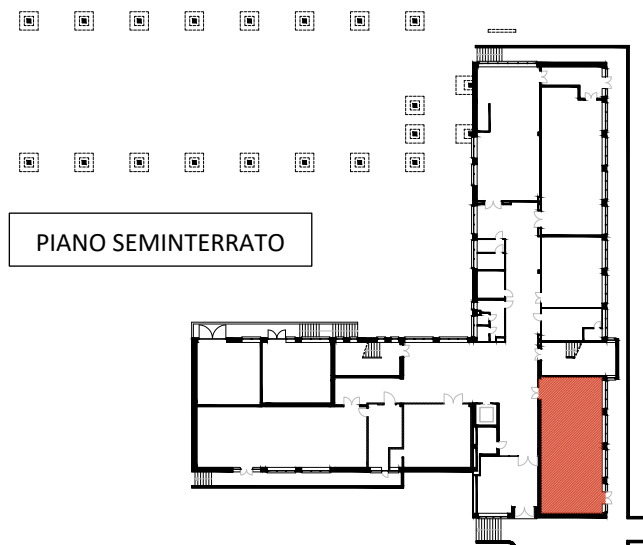
$T_{30, m} (250-500-1000-2000 \text{ Hz}) = 0,9 \text{ s}$ (insegnante in piedi)

$T_{30, m} (250-500-1000-2000 \text{ Hz}) = 0,9 \text{ s}$ (insegnante seduta)

..... obiettivo intervallo di conformità



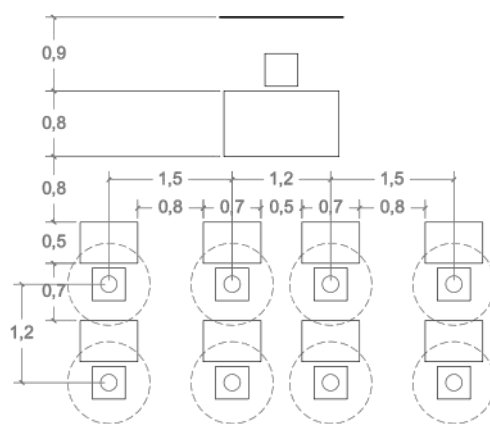
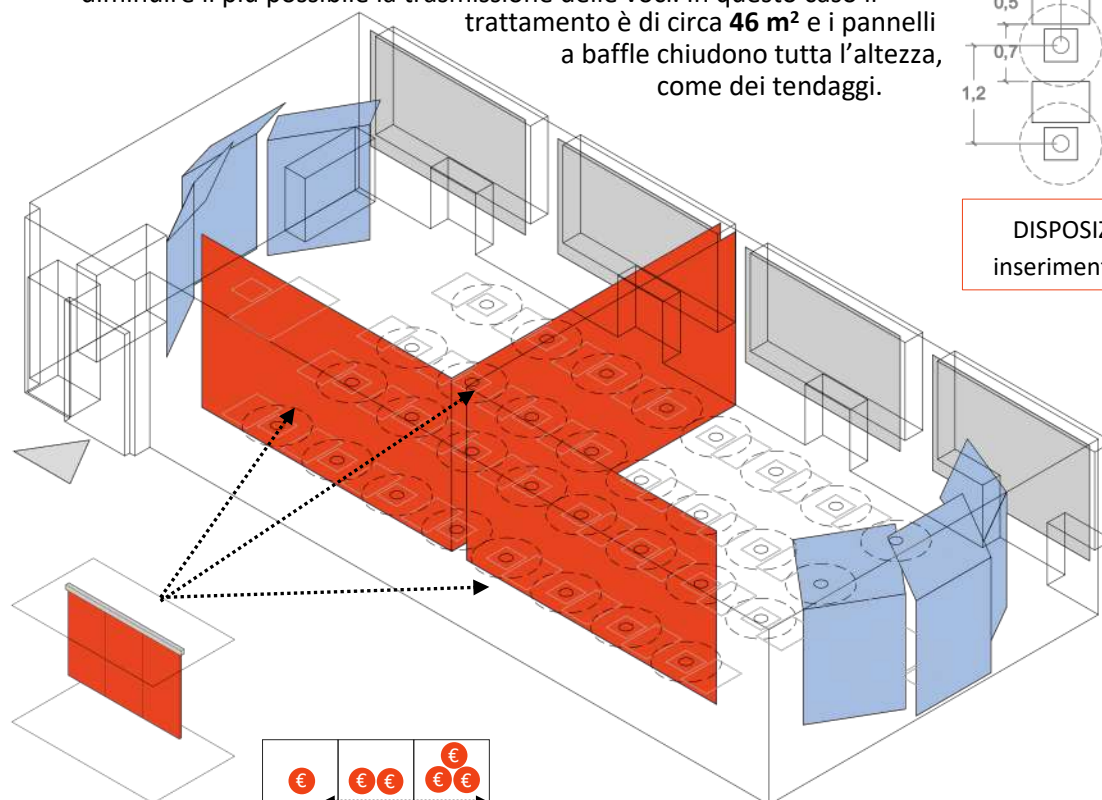
Beta Test 05 | AULA VIDEO



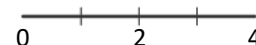
$L_1 = 14,9 \text{ m}$
 $L_2 = 6,6 \text{ m}$
 $H = 3,0 \text{ m}$
 $A_{pav} = 98 \text{ m}^2$
 $V = 298 \text{ m}^3$



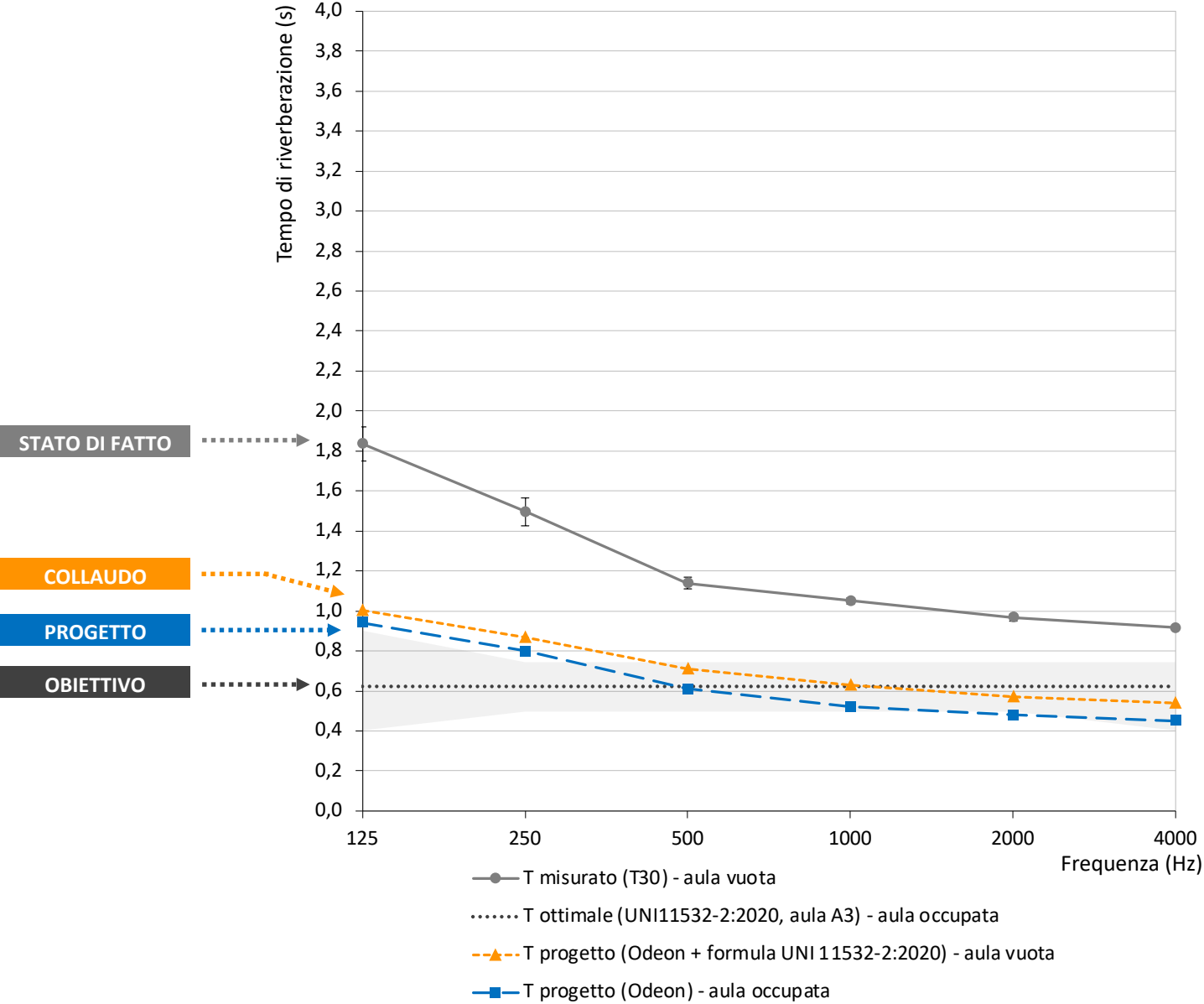
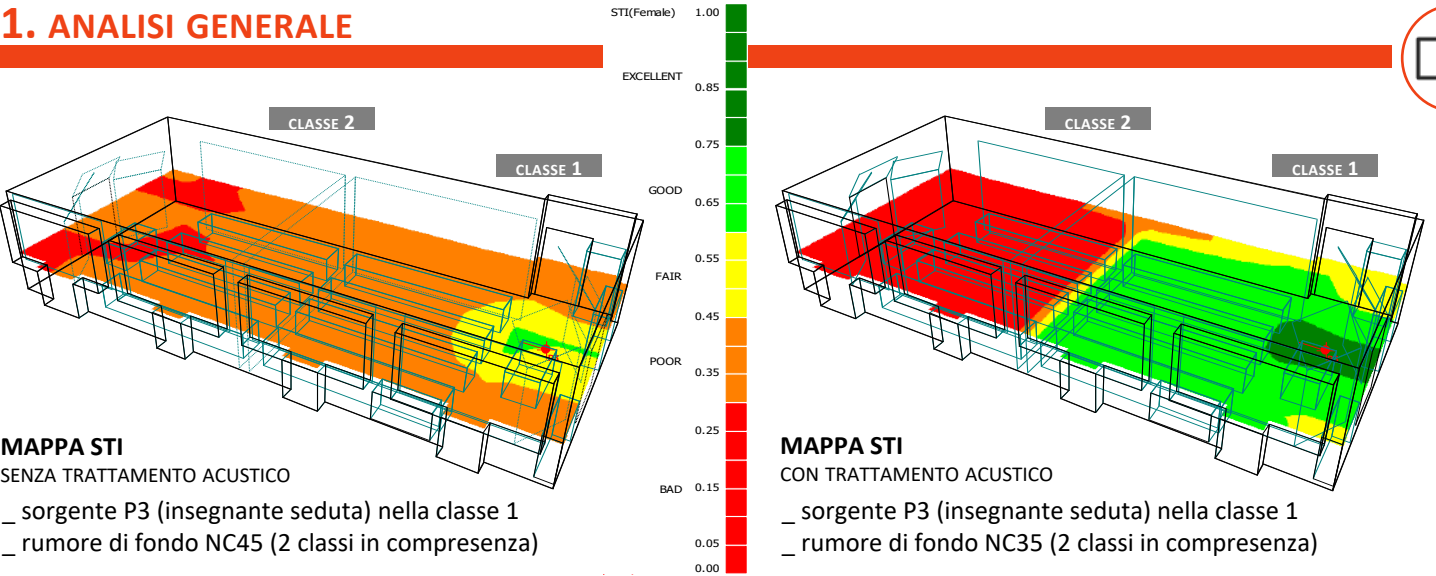
- tende già presenti
- conchiglia acustica
- treatment fonoassorbente e fonoisolante: realizzando due aule temporanee in un unico spazio, il trattamento deve essere posto intorno all'area occupata dagli alunni, lasciando solo lo spazio necessario per l'entrata e l'uscita, cercando di chiuderlo il più possibile in altezza per diminuire il più possibile la trasmissione delle voci. In questo caso il trattamento è di circa **46 m²** e i pannelli a baffle chiudono tutta l'altezza, come dei tendaggi.



DISPOSIZIONE BANCHI E CATTEDRA
inserimento di n.2 classi (16+16 alunni)



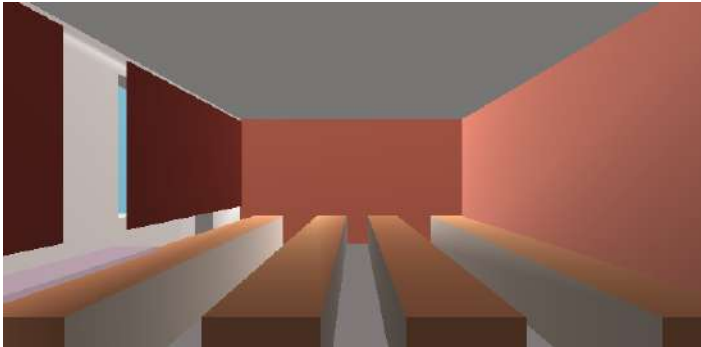
1. ANALISI GENERALE



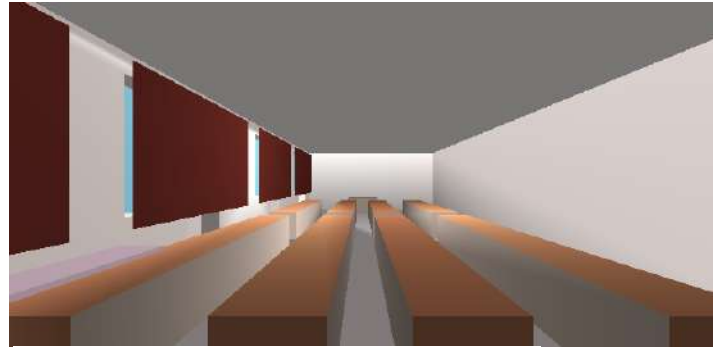
	Tempo di riverberazione, T (s)						T _m (250-500-1000-2000 Hz)
	125	250	500	1000	2000	4000	
T misurato (T ₃₀) - aula vuota	1,84	1,50	1,14	1,05	0,97	0,92	1,2
T ottimale (UNI11532-2:2020, aula A3) - aula occupata	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,6
T progetto (Odeon + formula UNI 11532-2:2020) - aula vuota	1,00	0,87	0,71	0,63	0,57	0,54	0,7
T progetto (Odeon) - aula occupata	0,94	0,80	0,61	0,52	0,48	0,45	0,6



CON TRATTAMENTO ACUSTICO



SENZA TRATTAMENTO ACUSTICO



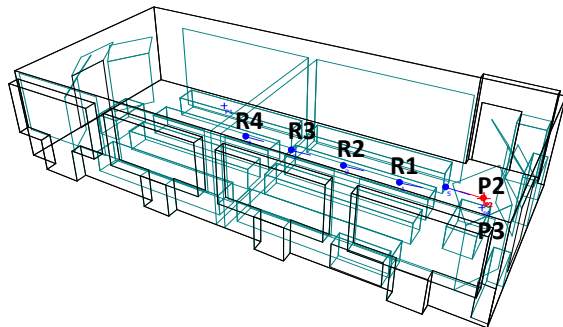
OBIETTIVO: $STI \geq 0,50$

RISULTATI: media dei valori in R1, R2 e R3. Il ricevitore in R4 non è stato considerato nella media poiché è in un altro spazio didattico: nella sua posizione il valore di STI deve essere inferiore rispetto al valore obiettivo

$STI (female)_{insegnante \text{ in piedi}} = 0,67$

$STI (female)_{insegnante \text{ seduta}} = 0,67$

..... obiettivo minimo intervallo di conformità



SORGENTI-RICEVITORI

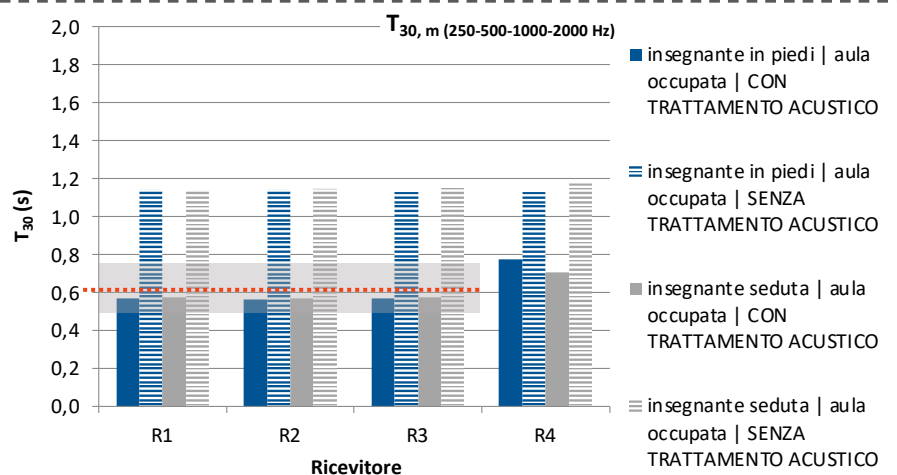
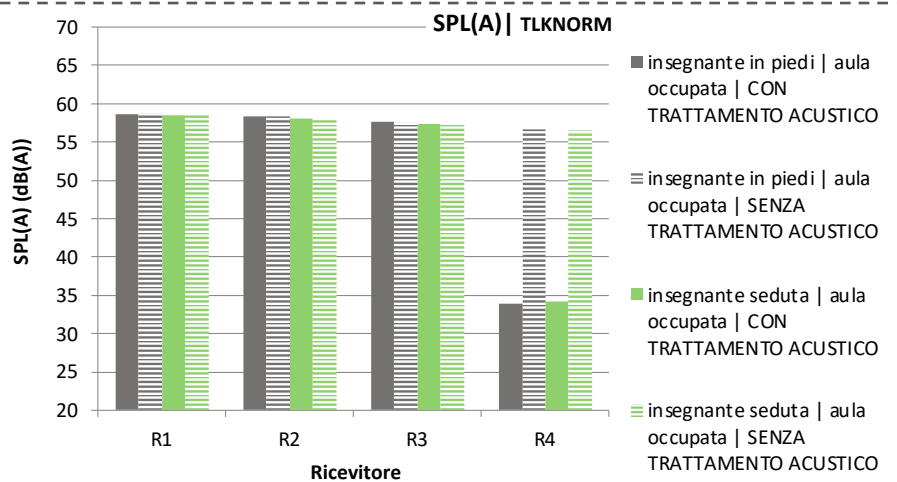
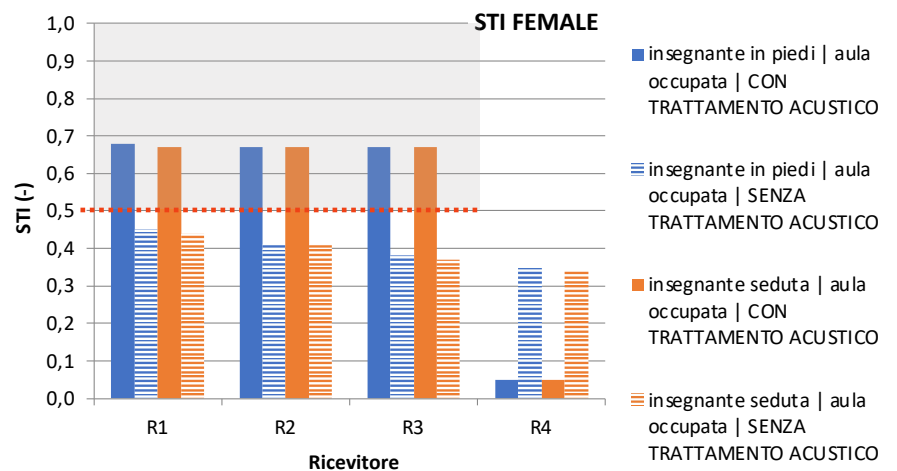
OBIETTIVO: $T_{30, m (250-500-1000-2000 \text{ Hz})} = 0,6 \text{ s}$

RISULTATI: media dei valori in R1, R2 e R3. Il ricevitore in R4 non è stato considerato nella media poiché è in un altro spazio didattico: nella sua posizione il valore di tempo di riverberazione può essere superiore rispetto al valore obiettivo (usando come sorgente l'insegnante nello spazio didattico studiato)

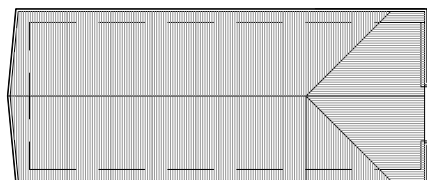
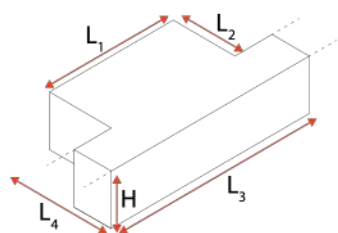
$T_{30, m (250-500-1000-2000 \text{ Hz})} = 0,6 \text{ s}$ (insegnante in piedi)

$T_{30, m (250-500-1000-2000 \text{ Hz})} = 0,6 \text{ s}$ (insegnante seduta)

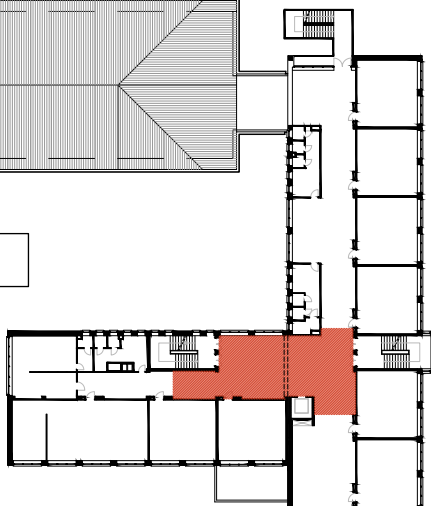
..... obiettivo intervallo di conformità



Beta Test 05 | ATRIO



PIANO PRIMO



$$L_1 = 11,1 \text{ m} \quad L_2 = 4,0 \text{ m}$$

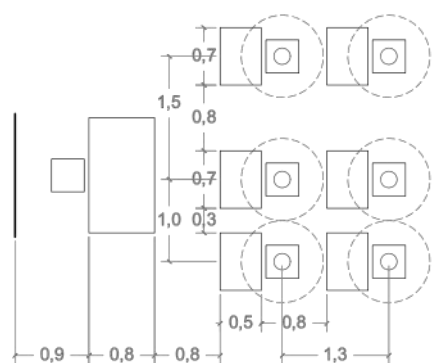
$$L_3 = 20,1 \text{ m} \quad L_4 = 6,9 \text{ m}$$

$$H = 3,2 \text{ m}$$

$$A_{\text{pav}} = 125 \text{ m}^2 (*)$$

$$V = 398 \text{ m}^3 (*) - V_{\text{«aula»}} = 142 \text{ m}^3 (*)$$

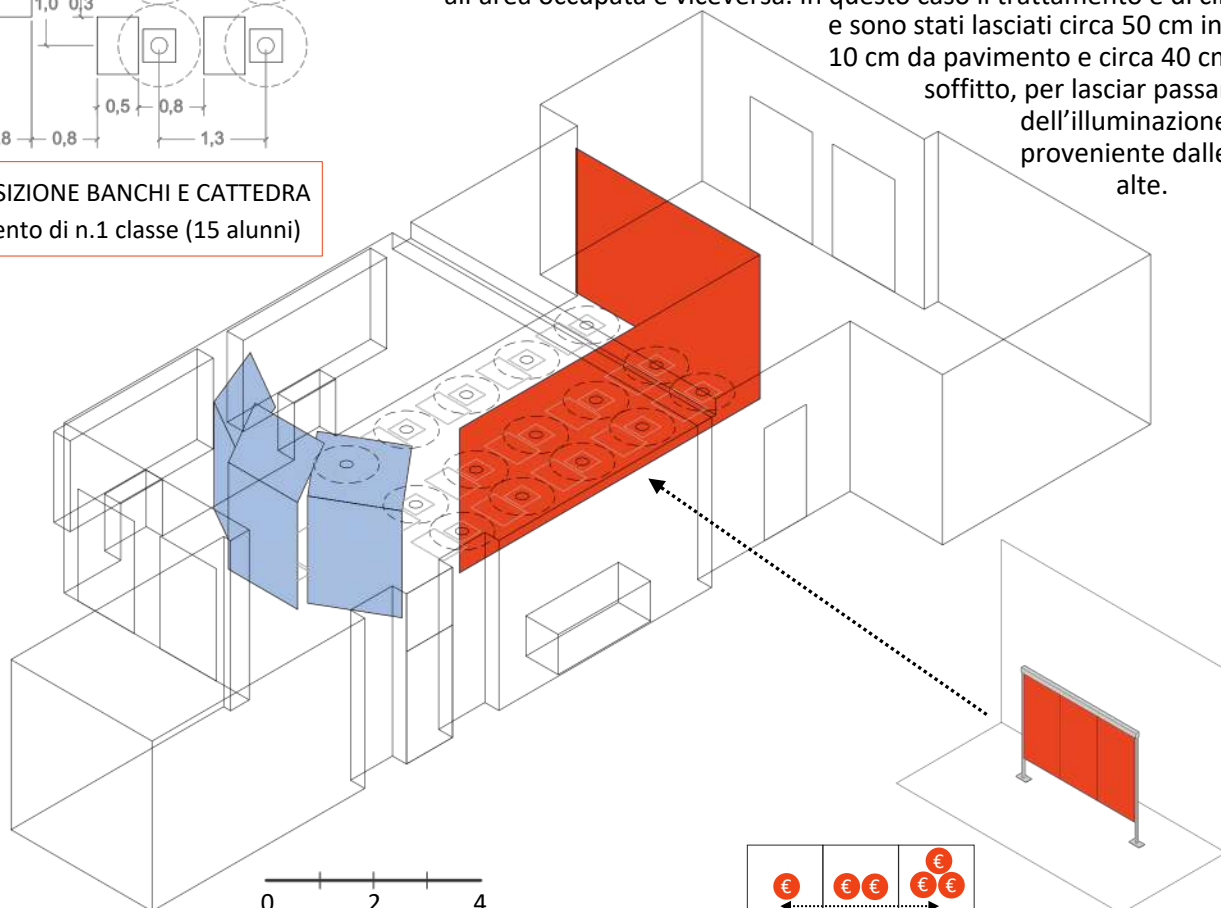
** l'area e il volume sono quelli considerati per il modello di simulazione acustica, superiori rispetto allo spazio di effettivo utilizzo per l'ambiente didattico temporaneo*



DISPOSIZIONE BANCHI E CATTEDRA
inserimento di n.1 classe (15 alunni)

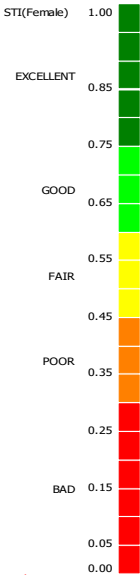
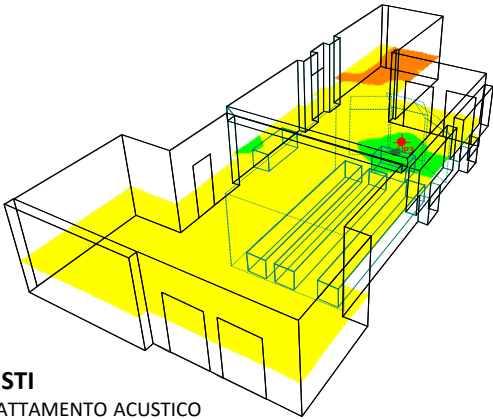
conchiglia acustica

treatmento fonoassorbente e fonoisolante: realizzando un'aula temporanea in uno spazio aperto di passaggio, il treatmento deve essere posto intorno all'area occupata dagli alunni, cercando di chiuderlo il più possibile in altezza per diminuire la trasmissione delle voci dal corridoio all'area occupata e viceversa. In questo caso il treatmento è di circa **28 m²** e sono stati lasciati circa 50 cm in altezza: 10 cm da pavimento e circa 40 cm da soffitto, per lasciar passare parte dell'illuminazione proveniente dalle finestre alte.

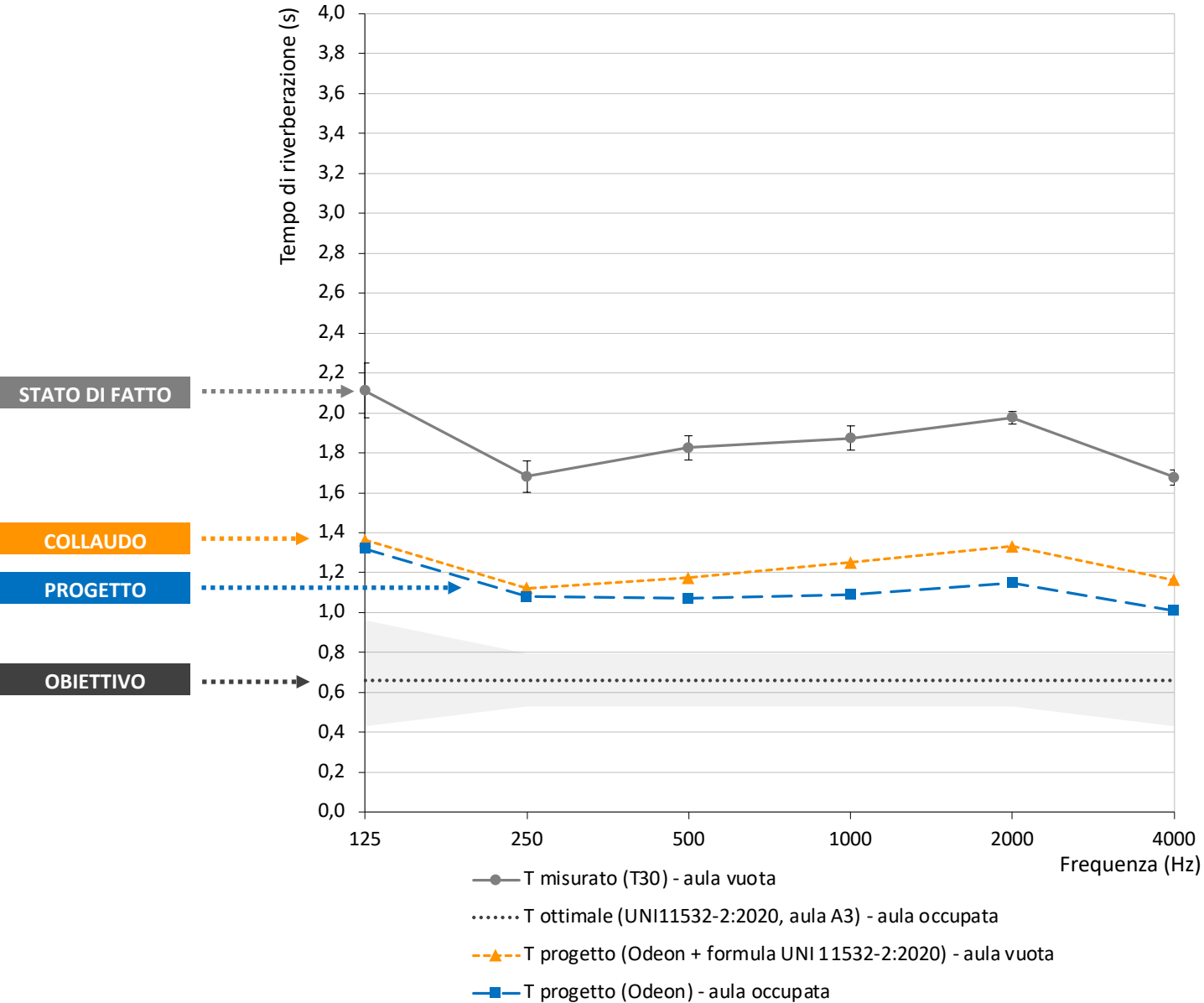
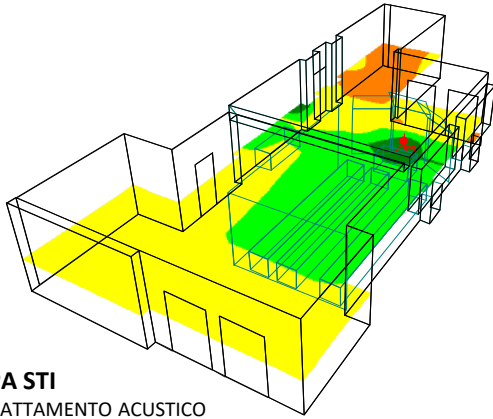


1. ANALISI GENERALE

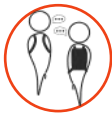
MAPPA STI
SENZA TRATTAMENTO ACUSTICO
_ sorgente P3 (insegnante seduta)
_ rumore di fondo NC30



MAPPA STI
CON TRATTAMENTO ACUSTICO
_ sorgente P3 (insegnante seduta)
_ rumore di fondo NC30

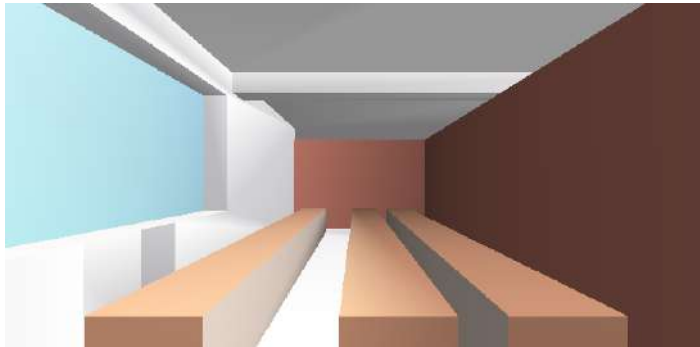


	Tempo di riverberazione, T (s)						T _m (250-500-1000-2000 Hz)
	125	250	500	1000	2000	4000	
T misurato (T ₃₀) - aula vuota	2,11	1,68	1,83	1,87	1,98	1,68	1,8
T ottimale (UNI11532-2:2020, aula A3) - aula occupata	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,7
T progetto (Odeon + formula UNI 11532-2:2020) - aula vuota	1,36	1,12	1,17	1,25	1,33	1,16	1,2
T progetto (Odeon) - aula occupata	1,32	1,08	1,07	1,09	1,15	1,01	1,1

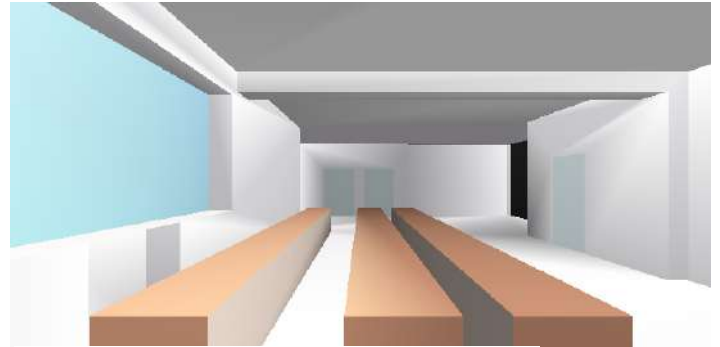




CON TRATTAMENTO ACUSTICO



SENZA TRATTAMENTO ACUSTICO



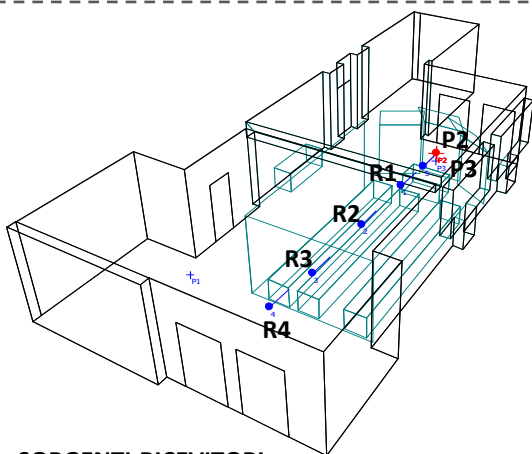
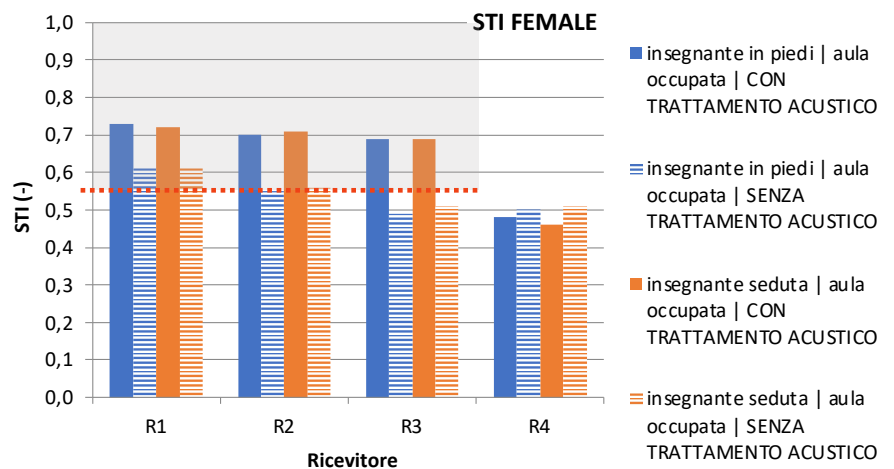
OBIETTIVO: $STI \geq 0,55$

RISULTATI: media dei valori in R1, R2 e R3. Il ricevitore in R4 non è stato considerato nella media poiché è fuori dallo spazio didattico: nella sua posizione il valore di STI può essere inferiore rispetto al valore obiettivo

$STI (female)_{insegnante \text{ in piedi}} = 0,71$

$STI (female)_{insegnante \text{ seduta}} = 0,71$

..... obiettivo minimo intervallo di conformità



SORGENTI-RICEVITORI

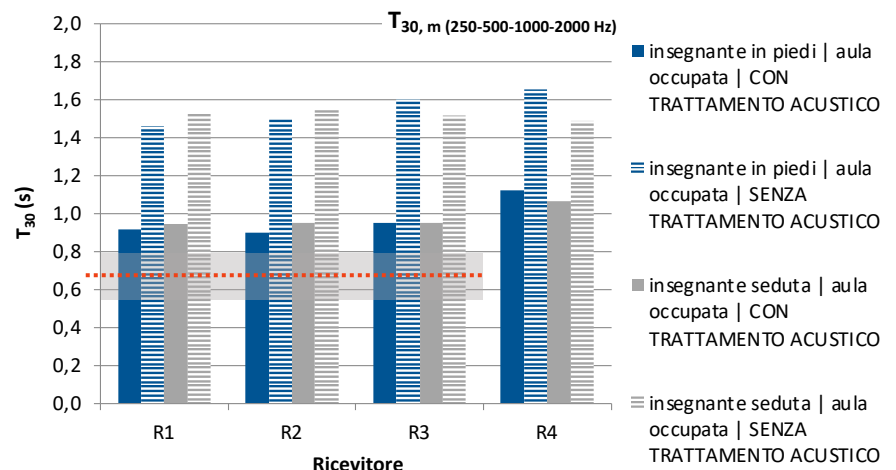
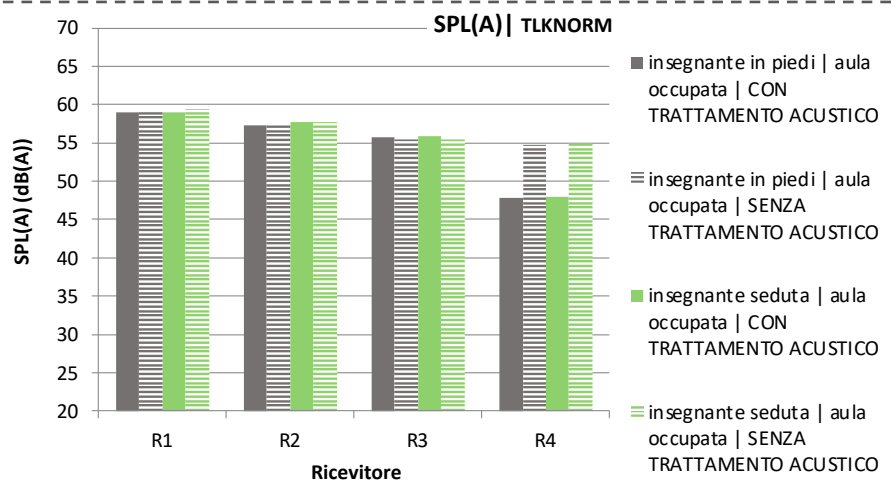
OBIETTIVO: $T_m (250-500-1000-2000 \text{ Hz}) = 0,7 \text{ s}$

RISULTATI: media dei valori in R1, R2 e R3. Il ricevitore in R4 non è stato considerato nella media poiché è fuori dallo spazio didattico: nella sua posizione il valore di tempo di riverberazione può essere superiore rispetto al valore obiettivo

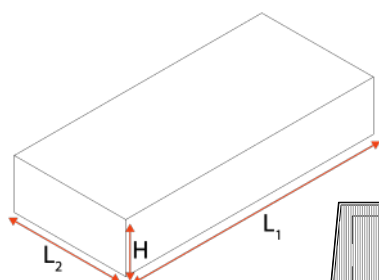
$T_{30, m} (250-500-1000-2000 \text{ Hz}) = 0,9 \text{ s}$ (insegnante in piedi)

$T_{30, m} (250-500-1000-2000 \text{ Hz}) = 0,8 \text{ s}$ (insegnante seduta)

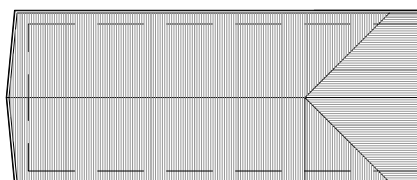
..... obiettivo intervallo di conformità



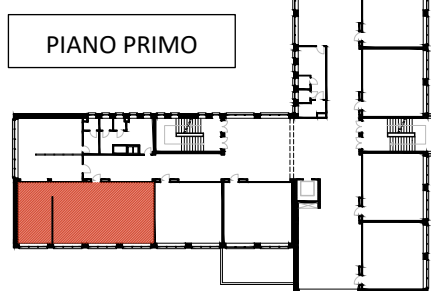
Beta Test 05 | AULA DI SCIENZE



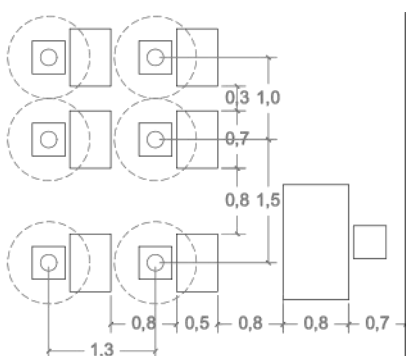
$L_1 = 14,8 \text{ m}$ - $L_2 = 6,6 \text{ m}$
 $H = 3,2 \text{ m}$
 $A_{\text{pav}} = 97 \text{ m}^2$
 $V = 311 \text{ m}^3$



PIANO PRIMO

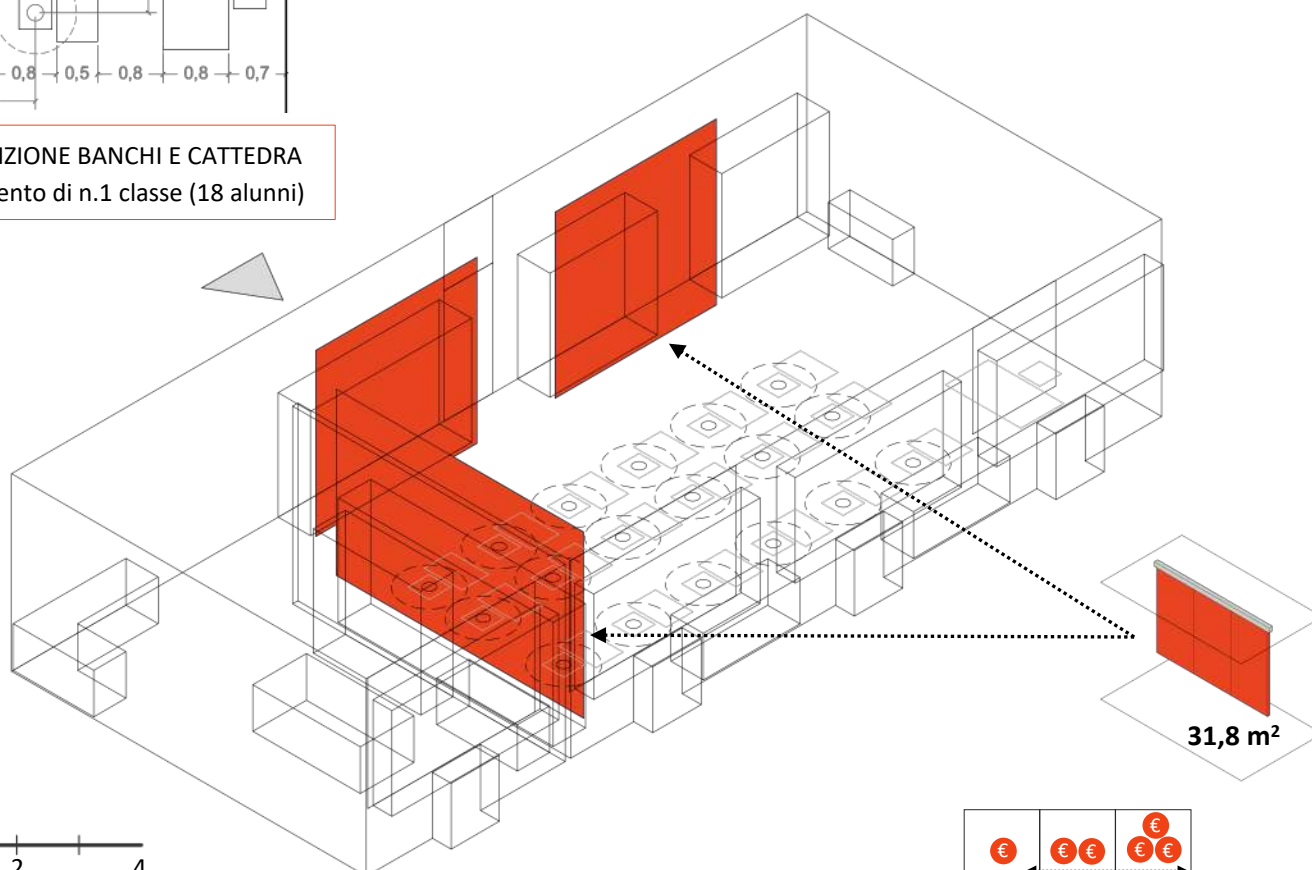


S
T
A
T
O
D
I
F
A
T
T
O



DISPOSIZIONE BANCHI E CATTEDRA
inserimento di n.1 classe (18 alunni)

 trattamento fonoassorbente (**27%** circa della somma delle aree delle pareti laterali e della parete di fondo – **31,8 m²**)



0 2 4

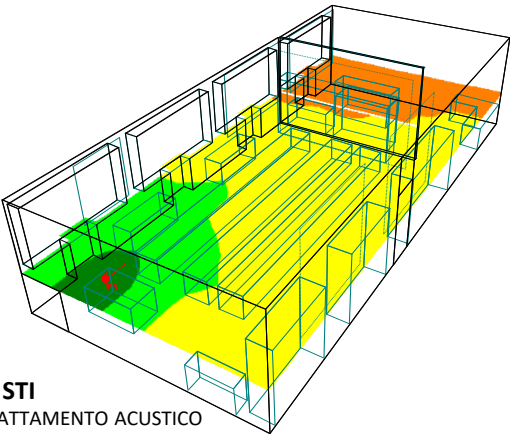


S
T
A
T
O
D
I
P
R
O
G
E
T
T
O

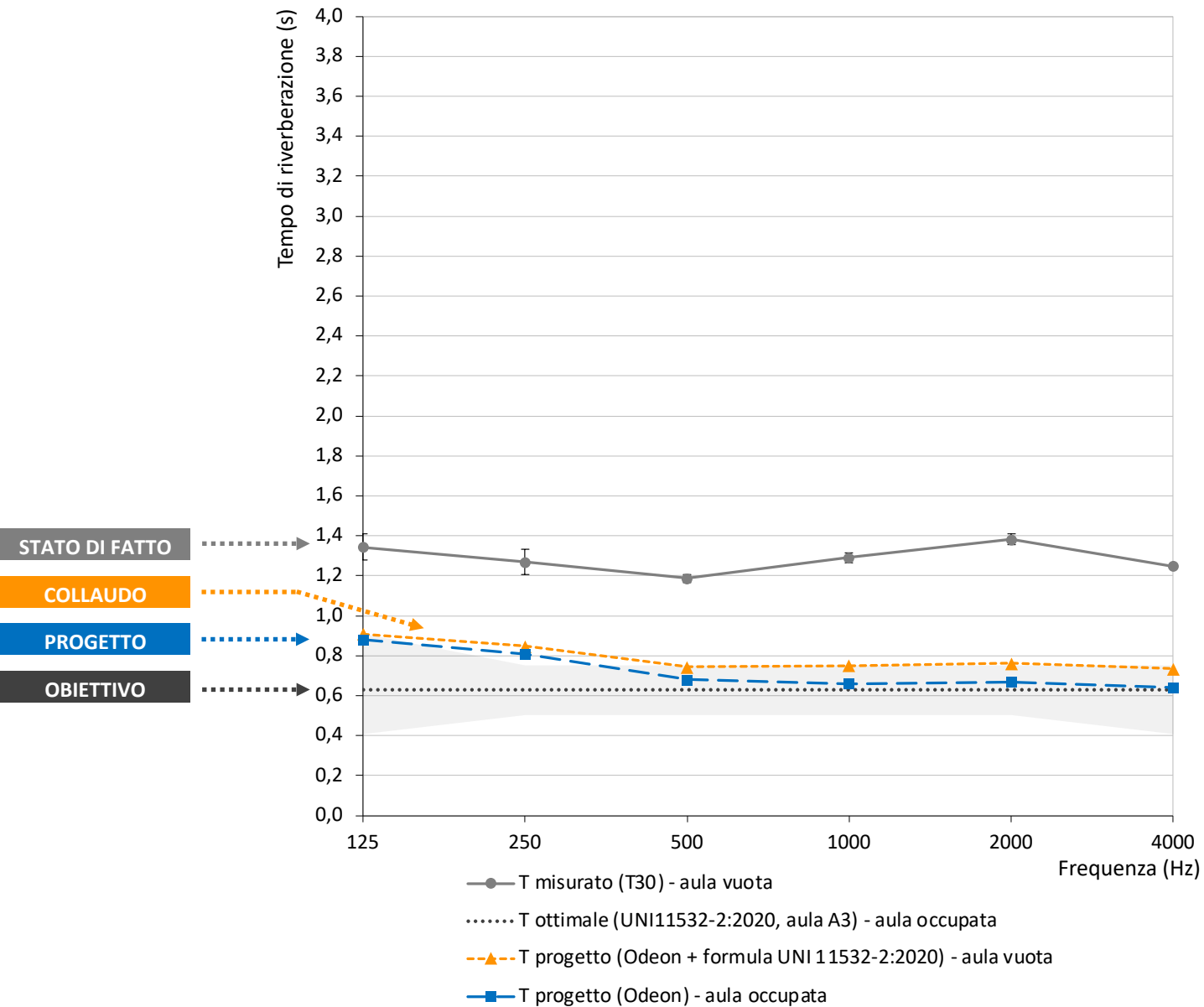
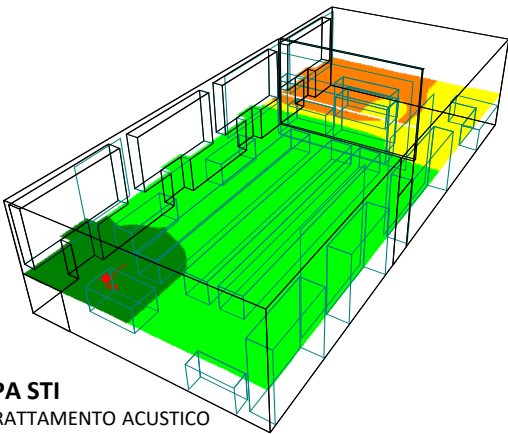
1. ANALISI GENERALE



MAPPA STI
SENZA TRATTAMENTO ACUSTICO
_ sorgente P3 (insegnante seduta)
_ rumore di fondo NC30



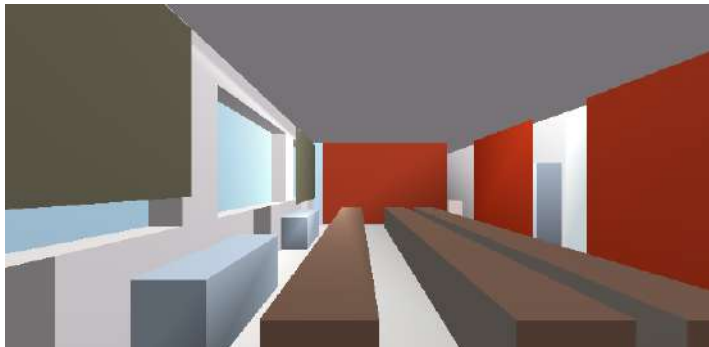
MAPPA STI
CON TRATTAMENTO ACUSTICO
_ sorgente P3 (insegnante seduta)
_ rumore di fondo NC30



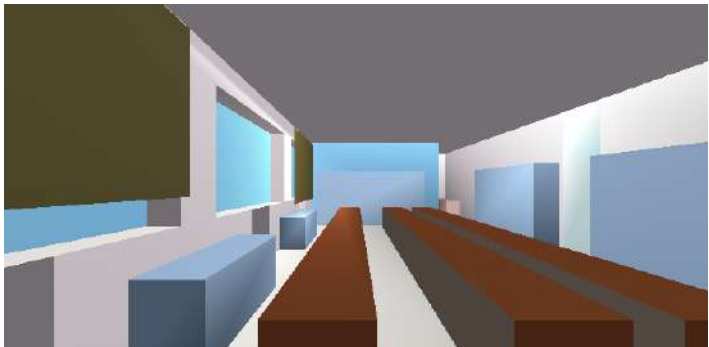
	Tempo di riverberazione, T (s)						T _m (250-500-1000-2000 Hz)
	125	250	500	1000	2000	4000	
T misurato (T ₃₀) - aula vuota	1,34	1,27	1,19	1,29	1,38	1,25	1,3
T ottimale (UNI11532-2:2020, aula A3) - aula occupata	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,6
T progetto (Odeon + formula UNI 11532-2:2020) - aula vuota	0,91	0,85	0,74	0,75	0,76	0,73	0,8
T progetto (Odeon) - aula occupata	0,88	0,81	0,68	0,66	0,67	0,64	0,7



CON TRATTAMENTO ACUSTICO



SENZA TRATTAMENTO ACUSTICO



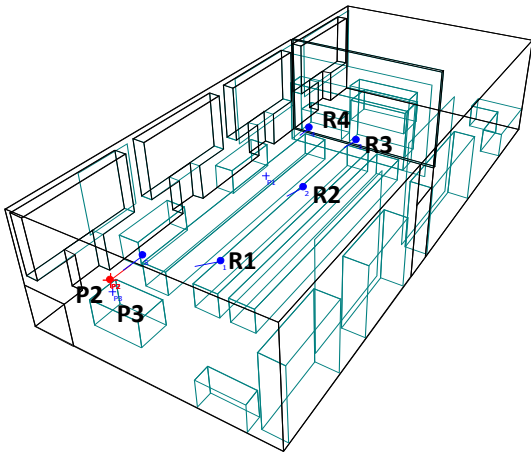
OBIETTIVO: $STI \geq 0,50$

RISULTATI: media dei valori in R1, R2, R3 e R4

$STI (female)_{insegnante \text{ in piedi}} = 0,66$

$STI (female)_{insegnante \text{ seduta}} = 0,67$

..... obiettivo minimo intervallo di conformità



SORGENTI-RICEVITORI

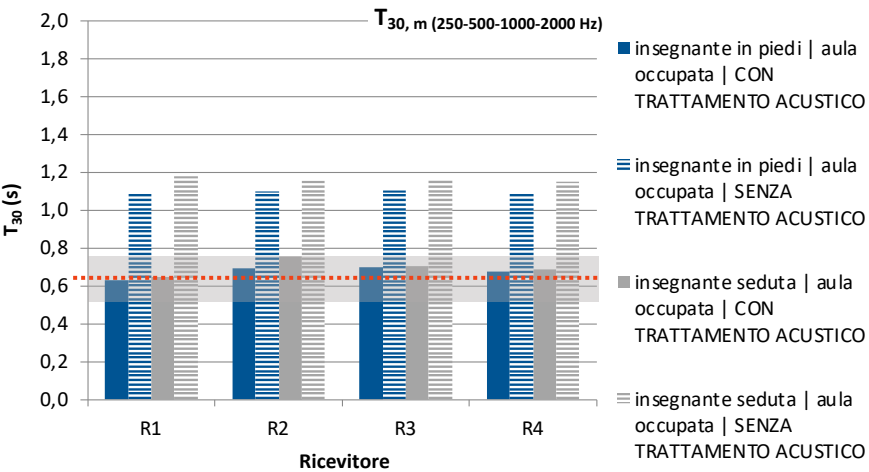
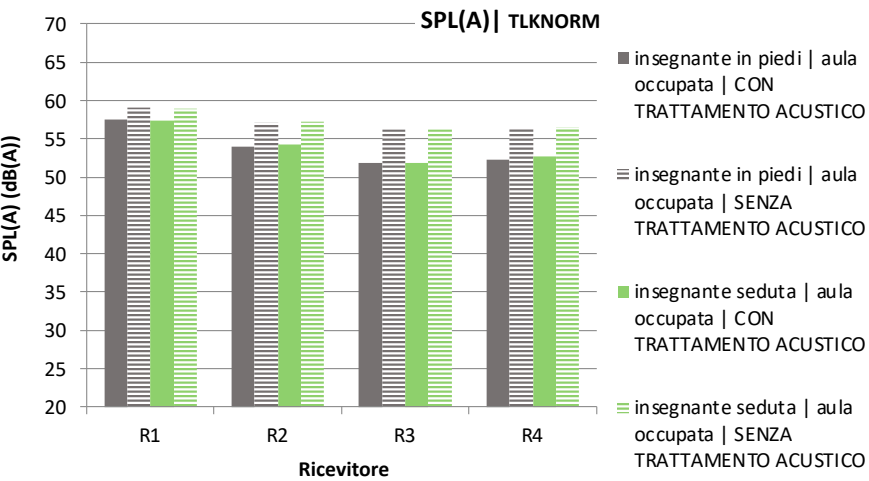
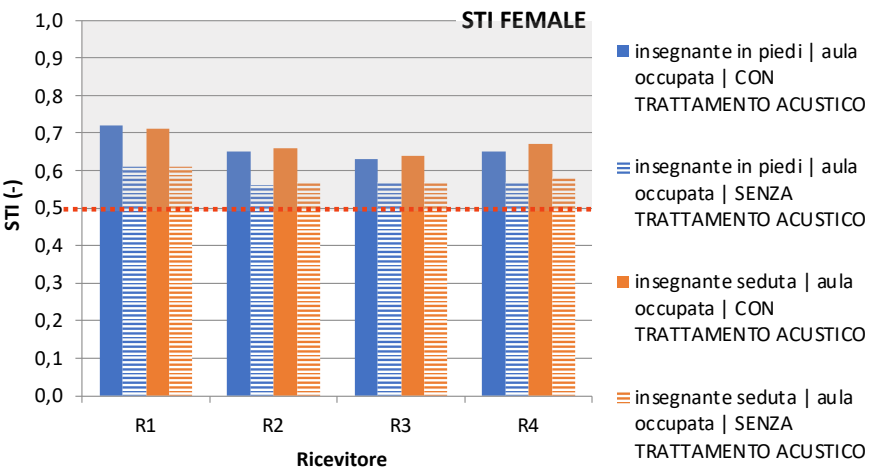
OBIETTIVO: $T_m (250-500-1000-2000 \text{ Hz}) = 0,6 \text{ s}$

RISULTATI: media dei valori in R1, R2, R3 e R4

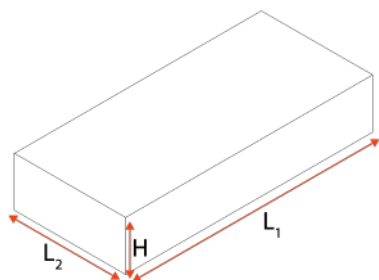
$T_{30, m} (250-500-1000-2000 \text{ Hz}) = 0,6 \text{ s}$ (insegnante in piedi)

$T_{30, m} (250-500-1000-2000 \text{ Hz}) = 0,6 \text{ s}$ (insegnante seduta)

..... obiettivo intervallo di conformità



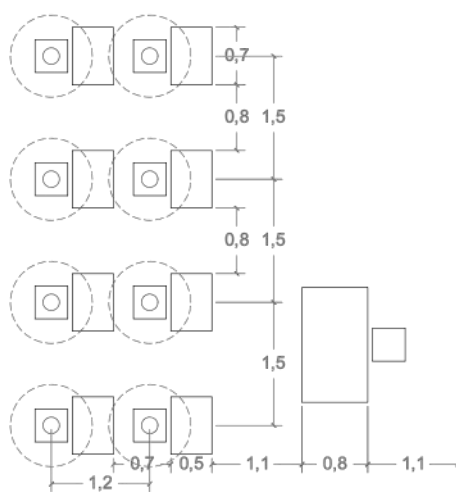
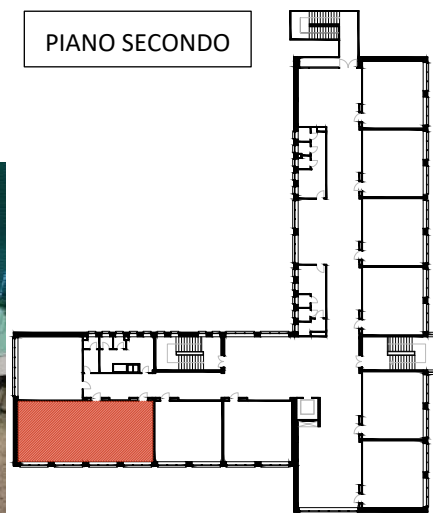
Beta Test 05 | AULA MASTER



$L_1 = 14,7 \text{ m}$
 $L_2 = 6,6 \text{ m}$
 $H = 3,2 \text{ m}$
 $A_{\text{pav}} = 97 \text{ m}^2$
 $V = 310 \text{ m}^3$

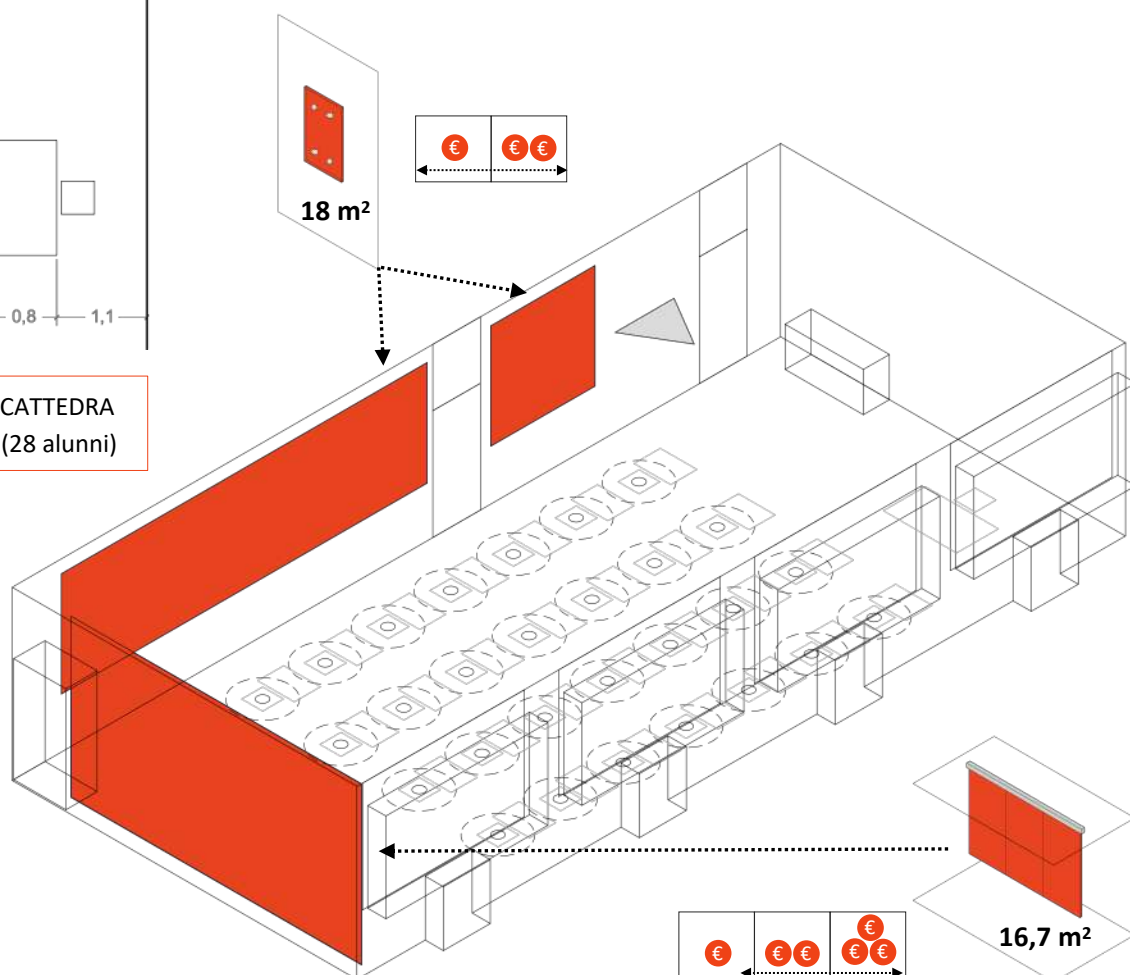


PIANO SECONDO



DISPOSIZIONE BANCHI E CATTEDRA
inserimento di n.1 classe (28 alunni)

trattamento fonoassorbente (30% circa della somma delle aree delle pareti laterali e della parete di fondo – **34,7 m²**)

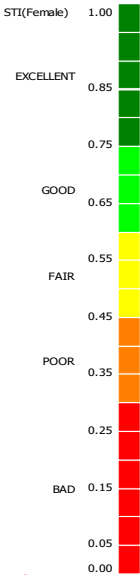
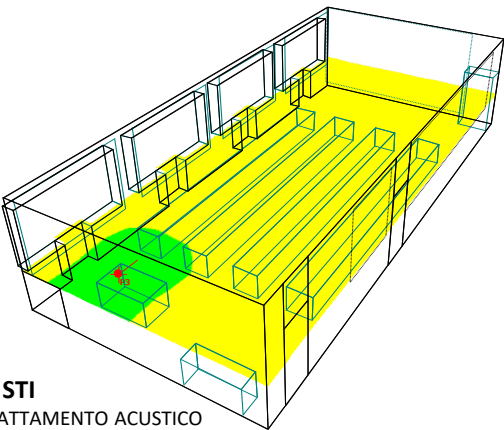


0 2 4

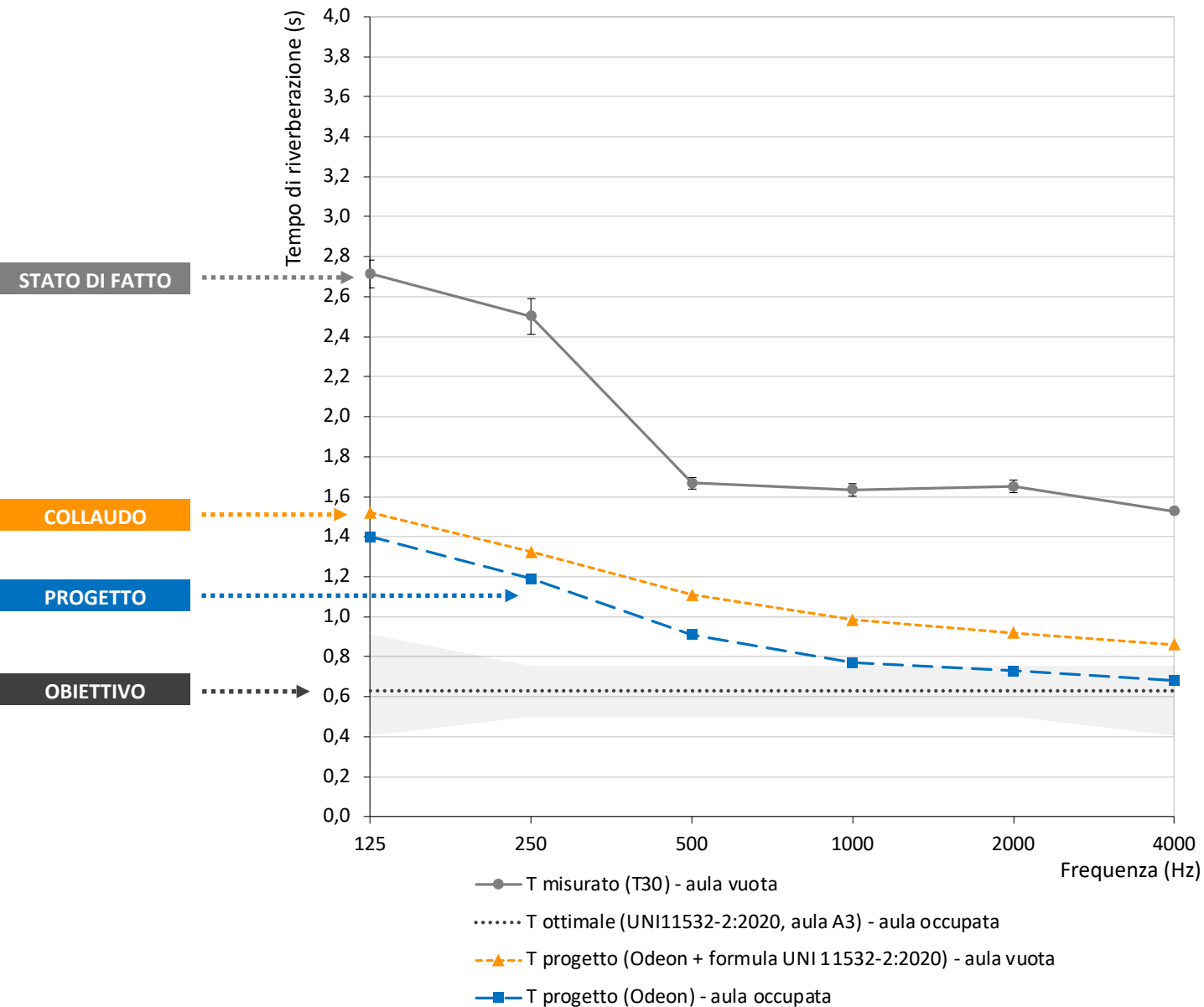
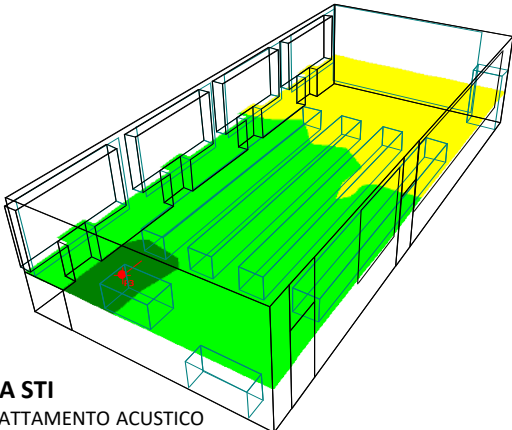
1. ANALISI GENERALE



MAPPA STI
SENZA TRATTAMENTO ACUSTICO
_ sorgente P3 (insegnante seduta)
_ rumore di fondo NC30



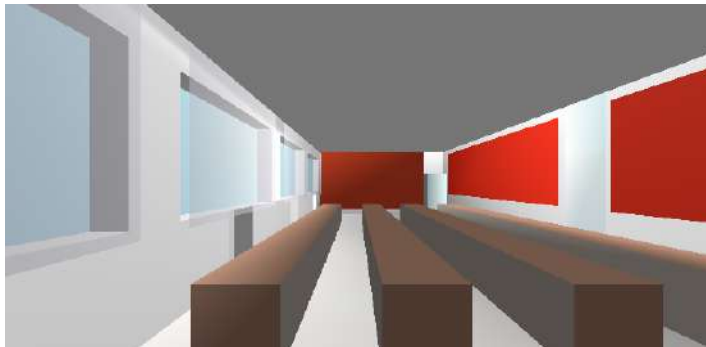
MAPPA STI
CON TRATTAMENTO ACUSTICO
_ sorgente P3 (insegnante seduta)
_ rumore di fondo NC30



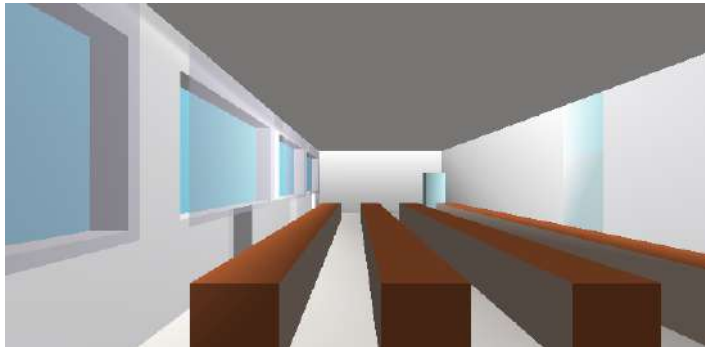
	Tempo di riverberazione, T (s)						T _m (250-500-1000-2000 Hz)
	125	250	500	1000	2000	4000	
T misurato (T ₃₀) - aula vuota	2,71	2,50	1,67	1,63	1,65	1,53	1,9
T ottimale (UNI11532-2:2020, aula A3) - aula occupata	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,6
T progetto (Odeon + formula UNI 11532-2:2020) - aula vuota	1,52	1,32	1,11	0,98	0,92	0,86	1,1
T progetto (Odeon) - aula occupata	1,40	1,19	0,91	0,77	0,73	0,68	0,9



CON TRATTAMENTO ACUSTICO



SENZA TRATTAMENTO ACUSTICO

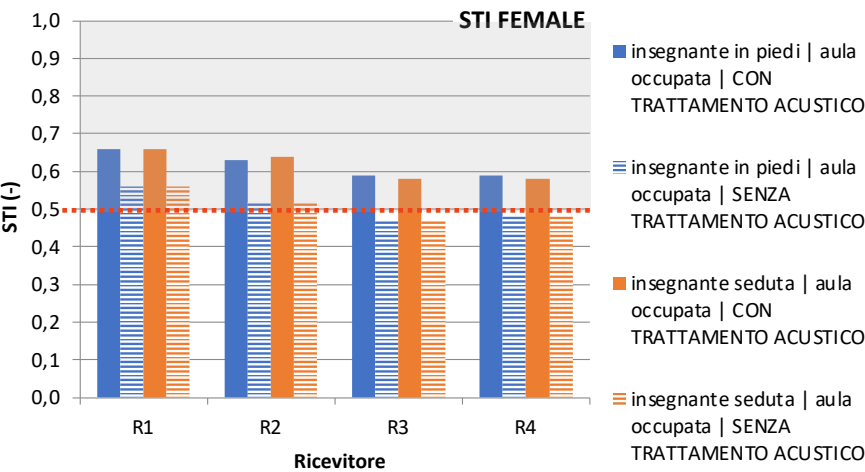


OBIETTIVO: $STI \geq 0,50$

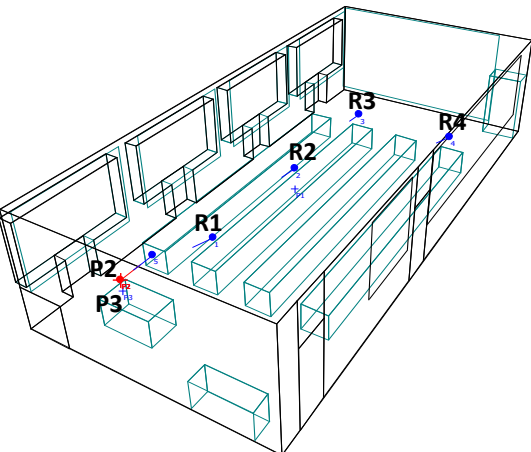
RISULTATI: media dei valori in R1, R2, R3 e R4

$STI (female)_{insegnante\ in\ piedi} = 0,62$

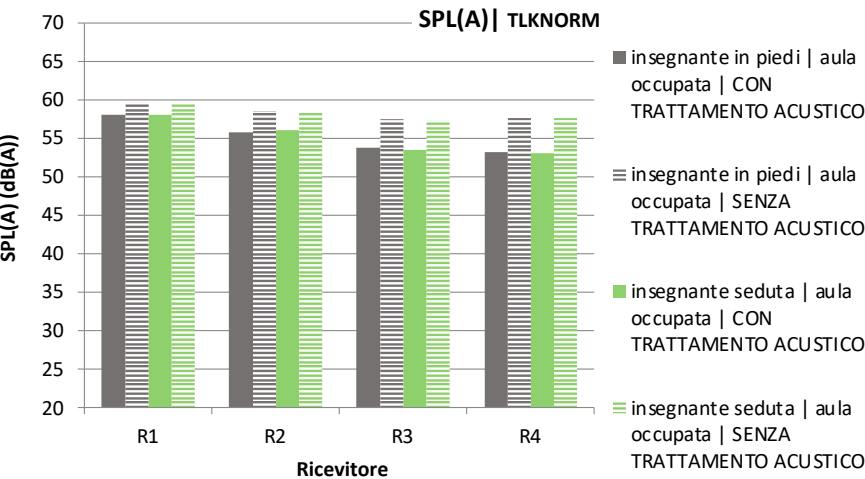
$STI (female)_{insegnante\ seduta} = 0,62$



..... obiettivo minimo intervallo di conformità



SORGENTI-RICEVITORI

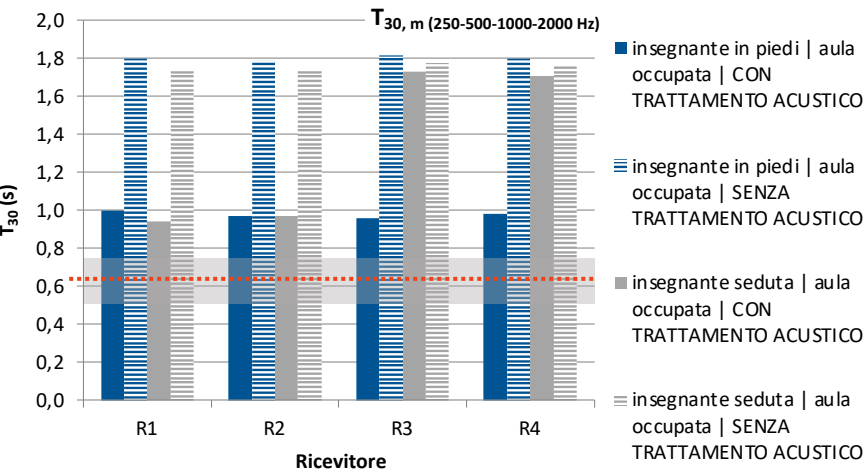


OBIETTIVO: $T_m (250-500-1000-2000\ Hz) = 0,6\ s$

RISULTATI: media dei valori in R1, R2, R3 e R4

$T_{30, m} (250-500-1000-2000\ Hz) = 1,0\ s$ (insegnante in piedi)

$T_{30, m} (250-500-1000-2000\ Hz) = 1,3\ s$ (insegnante seduta)



..... obiettivo intervallo di conformità

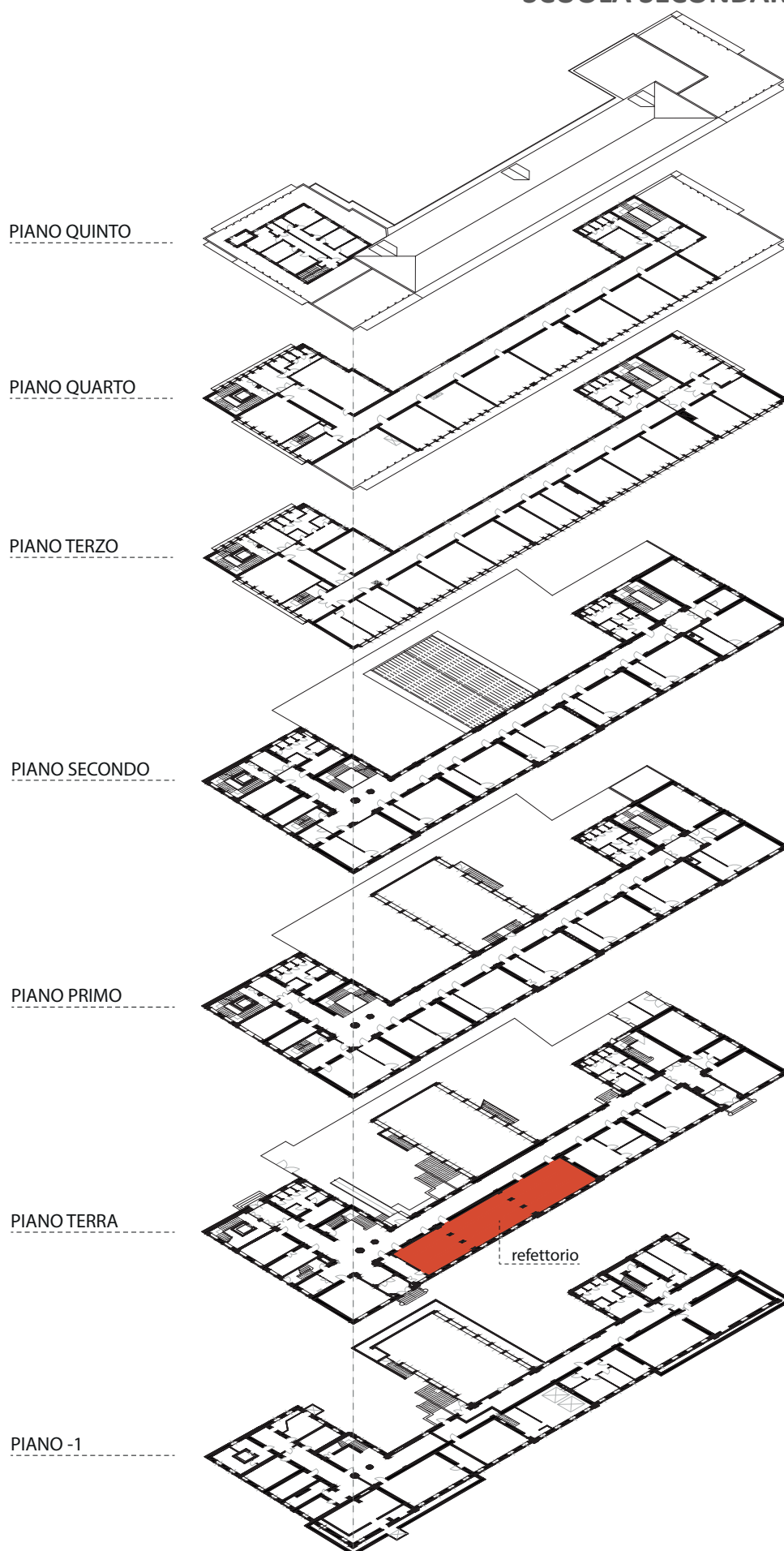
DETTAGLI

via Bertola 10, Torino
1899 costruzione – 1957 ampliamento

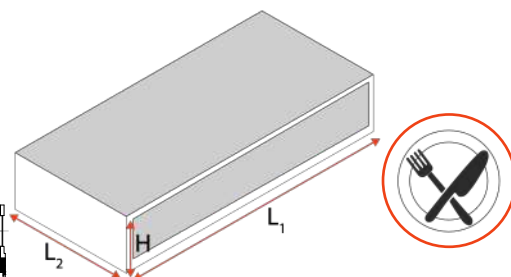
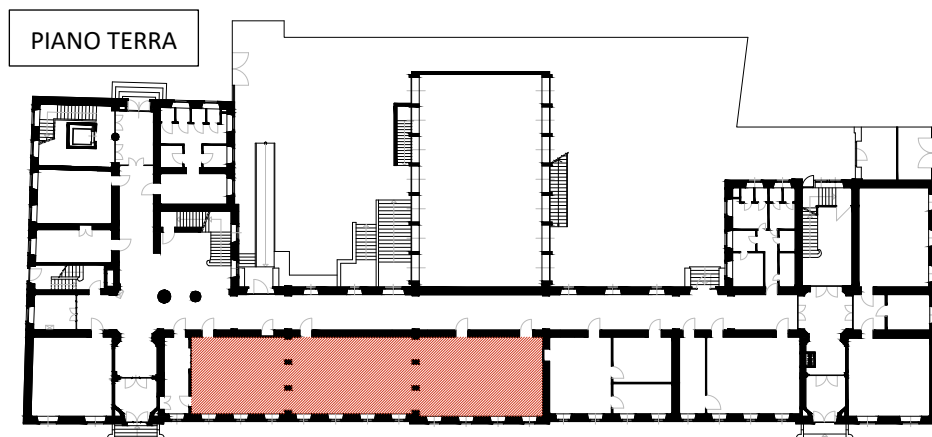
DESCRIZIONE

Edificio di sei piani fuori terra e un piano interrato, in muratura, è bombardato nel luglio del 1943 e viene ristrutturato negli anni Cinquanta. Fa parte del Convitto istituito da re Carlo Alberto nel 1848 e precedentemente era la sede di una scuola elementare.

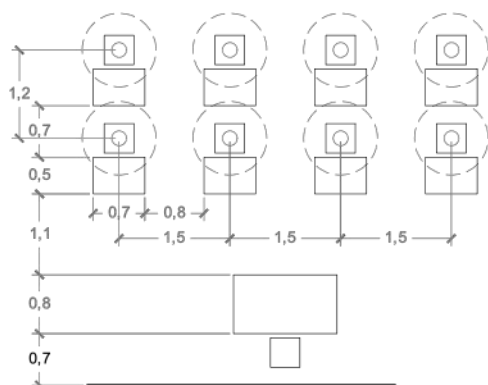
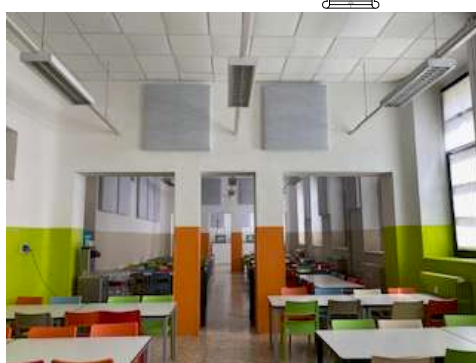




Beta Test 06 | REFETTORIO



$L_1 = 29,8 \text{ m}$ $L_2 = 6,7 \text{ m}$
 $H = 4 \text{ m} (*)$
 $A_{pav} = 194 \text{ m}^2$
 $V = 776 \text{ m}^3 (*)$
** l'altezza è stata stimata e di conseguenza anche il volume*

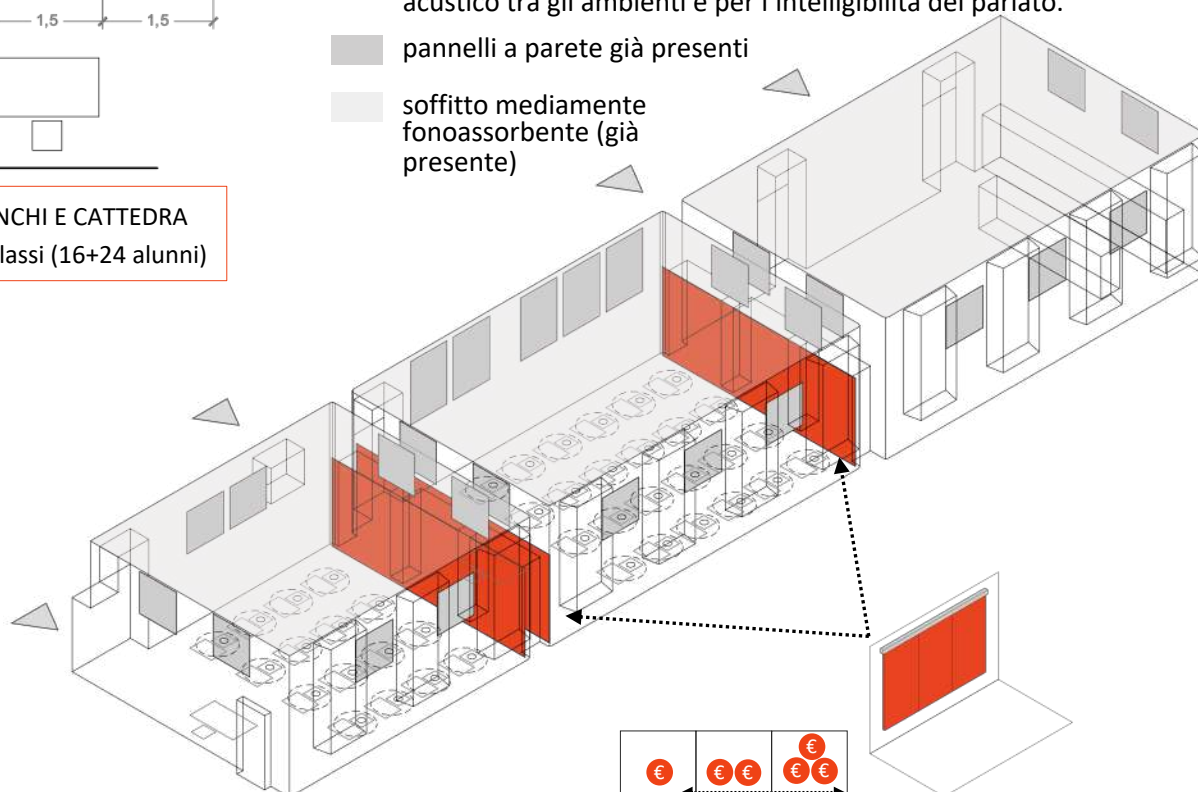


DISPOSIZIONE BANCHI E CATTEDRA
 inserimento di n.2 classi (16+24 alunni)

trattamento fonoassorbente e fonoisolante: realizzando due aule temporanee in un unico spazio (ognuna delle quali ha un ingresso specifico), il trattamento deve chiudere i passaggi attualmente esistenti, al fine di realizzare due ambienti separati e diminuire il più possibile la trasmissione delle voci dall'uno all'altro. In questo caso il tempo di riverberazione è già nella fascia ottimale, il trattamento, di circa **47 m²**, è fondamentale per l'isolamento acustico tra gli ambienti e per l'intelligibilità del parlato.

pannelli a parete già presenti

soffitto mediamente fonoassorbente (già presente)

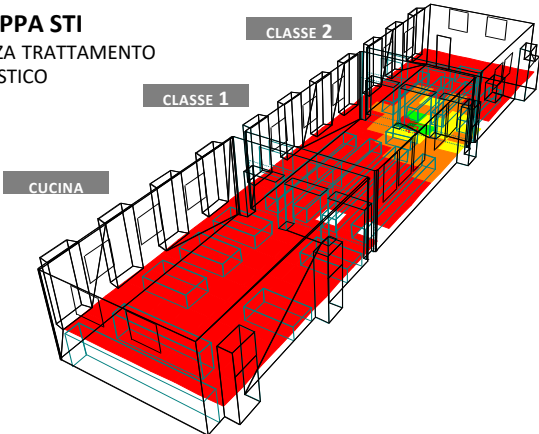


0 2 4

1. ANALISI GENERALE

MAPPA STI

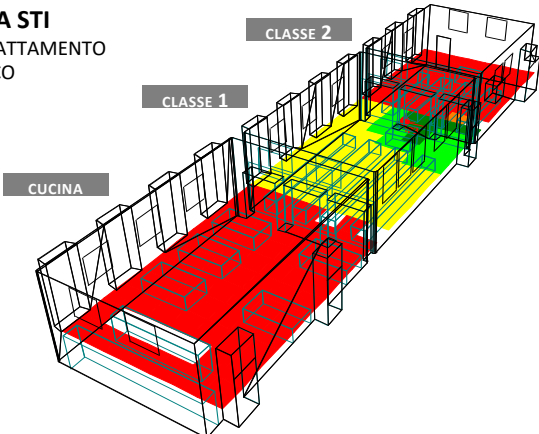
SENZA TRATTAMENTO
ACUSTICO



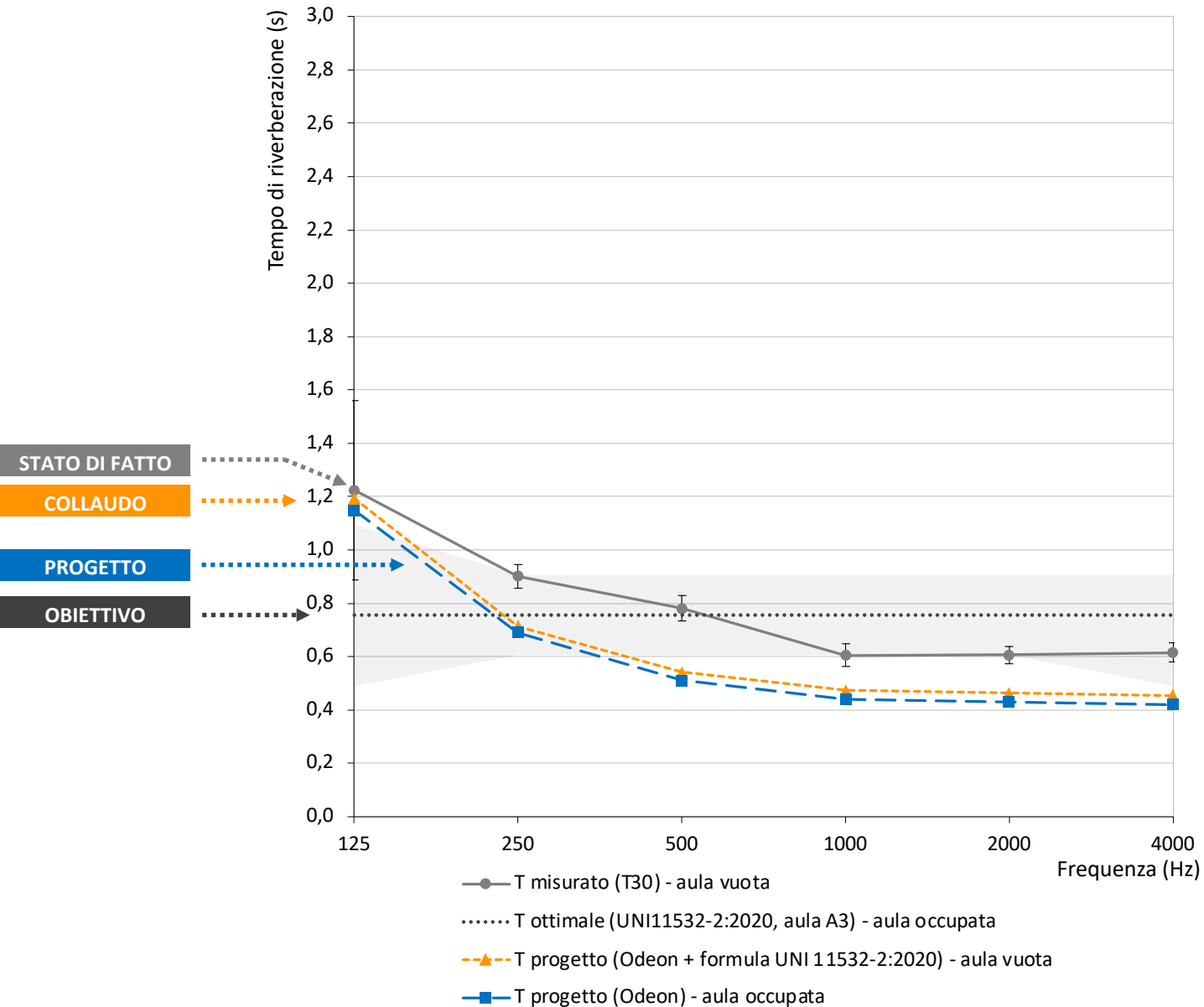
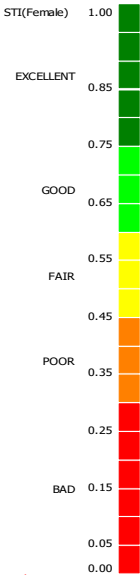
_ sorgente P3 (insegnante seduta) nella classe 1
_ rumore di fondo NC45 (2 classi in compresenza)

MAPPA STI

CON TRATTAMENTO
ACUSTICO



_ sorgente P3 (insegnante seduta) nella classe 1
_ rumore di fondo NC35 (2 classi in compresenza)



	Tempo di riverberazione, T (s)						T _m (250-500-1000-2000 Hz)
	125	250	500	1000	2000	4000	
T misurato (T ₃₀) - aula vuota	1,22	0,90	0,78	0,61	0,61	0,61	0,7
T ottimale (UNI11532-2:2020, aula A3) - aula occupata	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,8
T progetto (Odeon + formula UNI 11532-2:2020) - aula vuota	1,19	0,71	0,54	0,47	0,46	0,45	0,5
T progetto (Odeon) - aula occupata	1,15	0,69	0,51	0,44	0,43	0,42	0,5



CON TRATTAMENTO ACUSTICO



SENZA TRATTAMENTO ACUSTICO

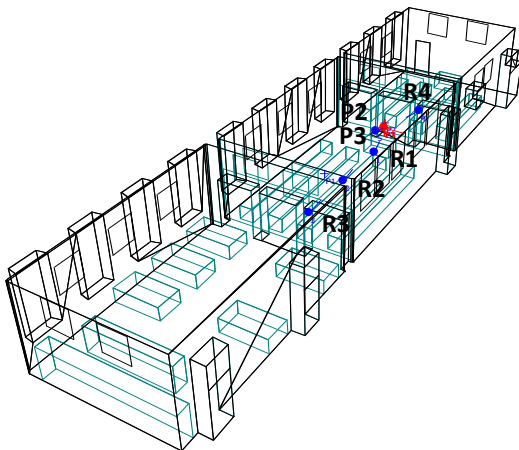
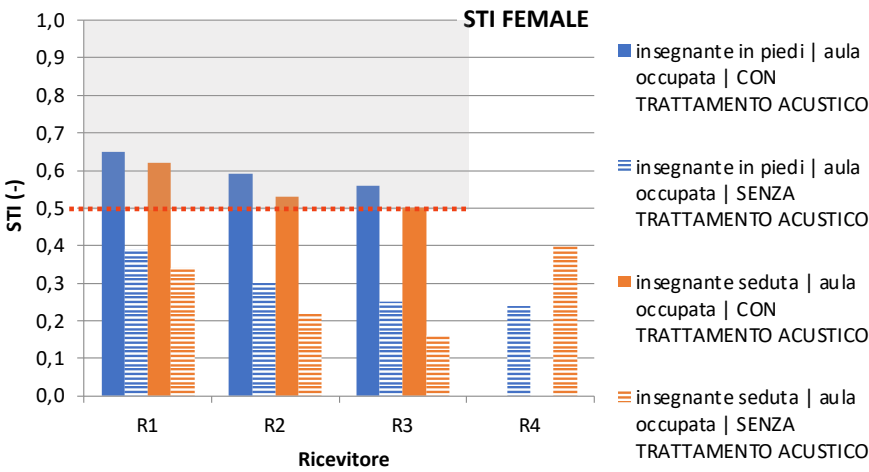


OBIETTIVO: $STI \geq 0,50$

RISULTATI: media dei valori in R1, R2 e R3. Il ricevitore in R4 non è stato considerato nella media poiché è in un altro spazio didattico: nella sua posizione il valore di STI deve essere inferiore rispetto al valore obiettivo

STI (female)_{insegnante in piedi} = 0,60
STI (female)_{insegnante seduta} = 0,55

..... obiettivo minimo intervallo di conformità



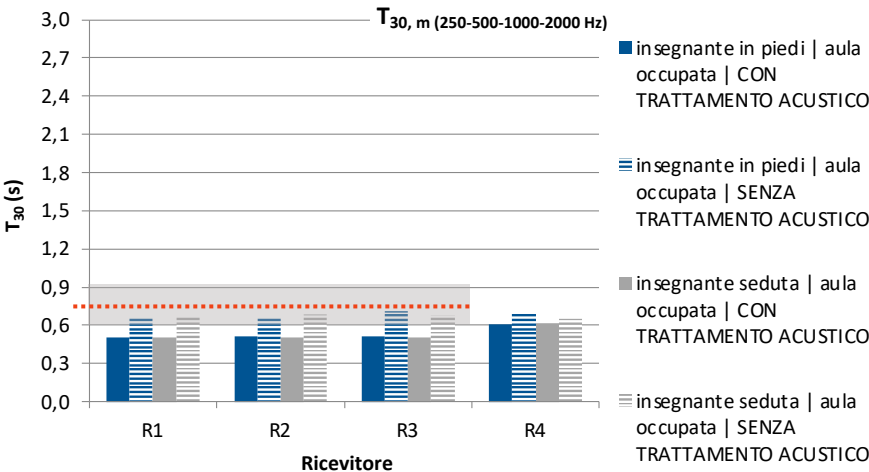
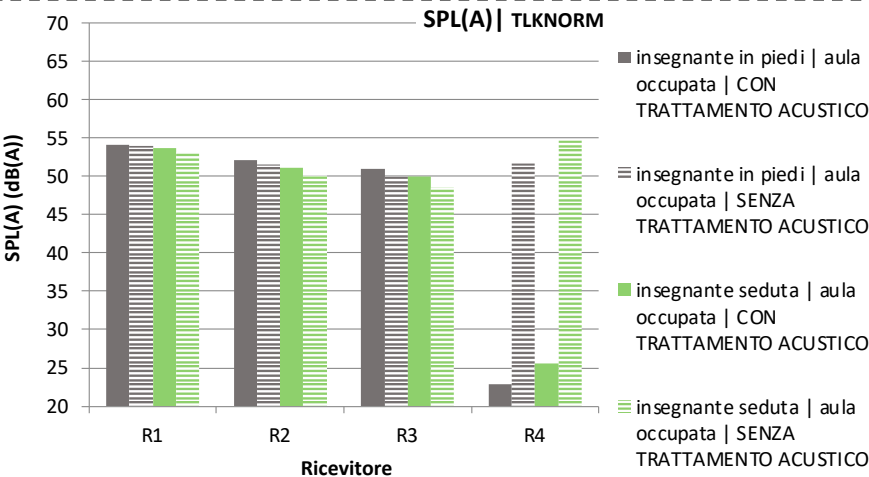
SORGENTI-RICEVITORI

OBIETTIVO: $T_m (250-500-1000-2000 \text{ Hz}) = 0,8 \text{ s}$

RISULTATI: media dei valori in R1, R2 e R3. Il ricevitore in R4 non è stato considerato nella media poiché è in un altro spazio didattico: nella sua posizione il valore di tempo di riverberazione può essere superiore rispetto al valore obiettivo (usando come sorgente l'insegnante nello spazio didattico studiato)

$T_{30, m (250-500-1000-2000 \text{ Hz})} = 0,5 \text{ s}$ (insegnante in piedi)
 $T_{30, m (250-500-1000-2000 \text{ Hz})} = 0,5 \text{ s}$ (insegnante seduta)

..... obiettivo intervallo di conformità



Beta Test 07

CONVITTO NAZIONALE UMBERTO I SCUOLA PRIMARIA, SCUOLA SECONDARIA DI I E II GRADO

DETTAGLI

via Bligny 1bis, Torino

1718 anno di acquisto del lotto per la costruzione

DESCRIZIONE

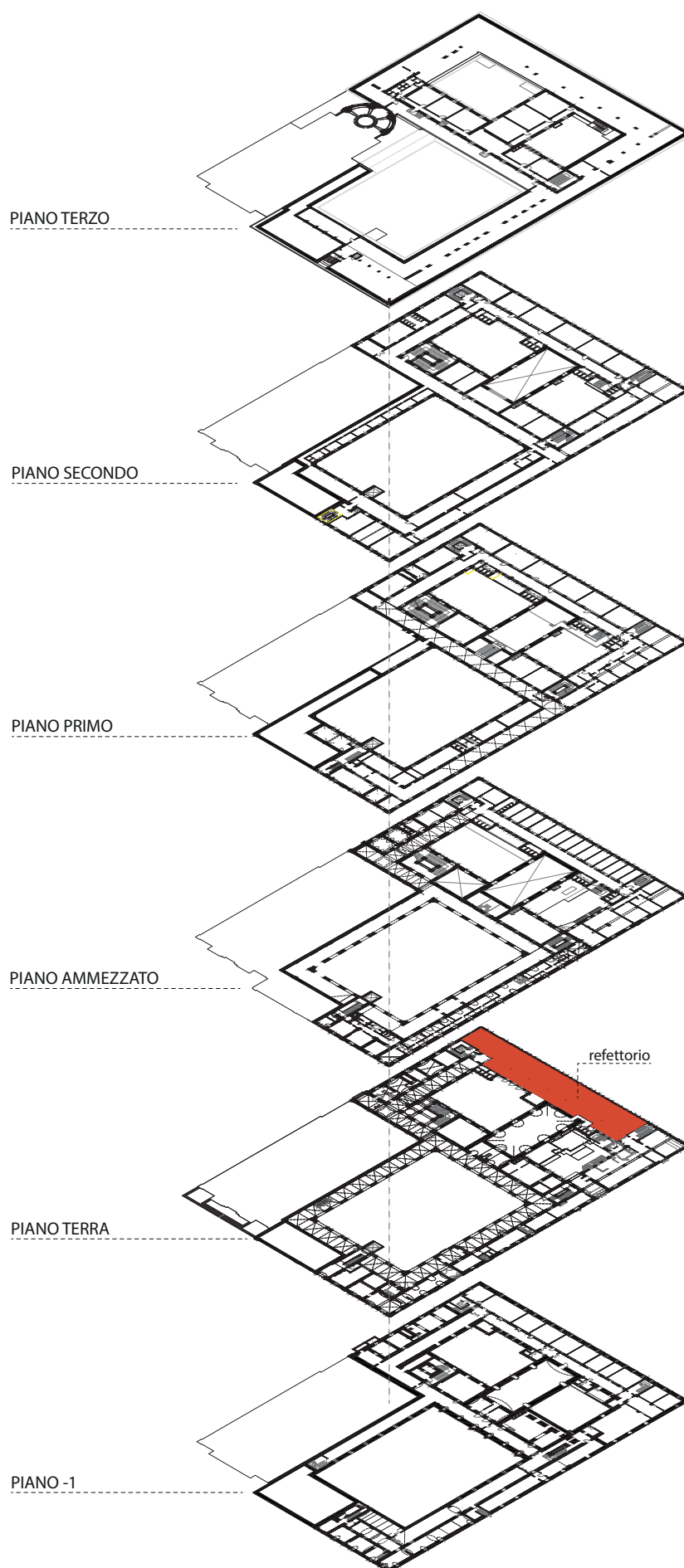
Edificio di quattro piani fuori terra (la manica centrale cinque) e un piano interrato, in muratura, nasce nel Settecento come Convento Carmelitano, ospita i Gesuiti, che trasformano la loro scuola in Collegio, assorbendo il Collegio dei Nobili e nel 1848 diventa la sede del Convitto Umberto I di Torino, istituito da re Carlo Alberto.

È colpito da bombe incendiarie nell'agosto del 1943.



Refettorio

1.575 m³



Beta Test 07 | REFETTORIO



$$L_1 = 52,1 \text{ m} \quad L_2 = 5,9 \text{ m}$$

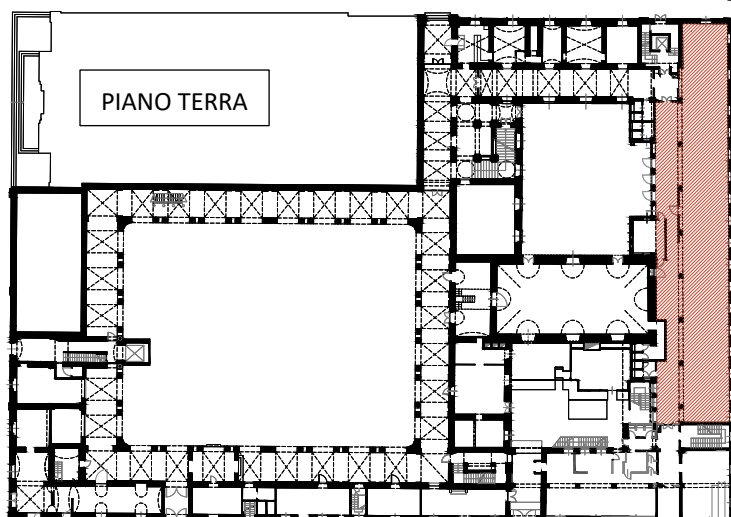
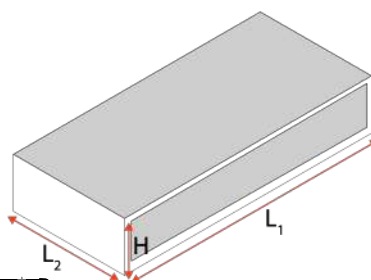
$$H = 3,5 \text{ m}$$

$$A_{\text{pav}} = 450 \text{ m}^2 (*)$$

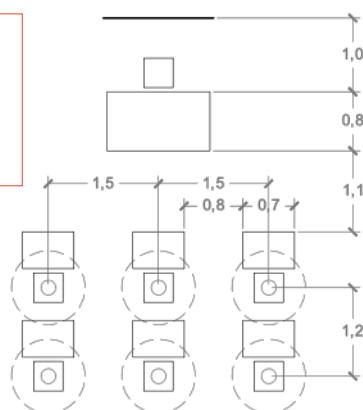
$$V = 1.575 \text{ m}^3 (*)$$

$$V_{\text{«aula»}} = 1.076 \text{ m}^3 (*)$$

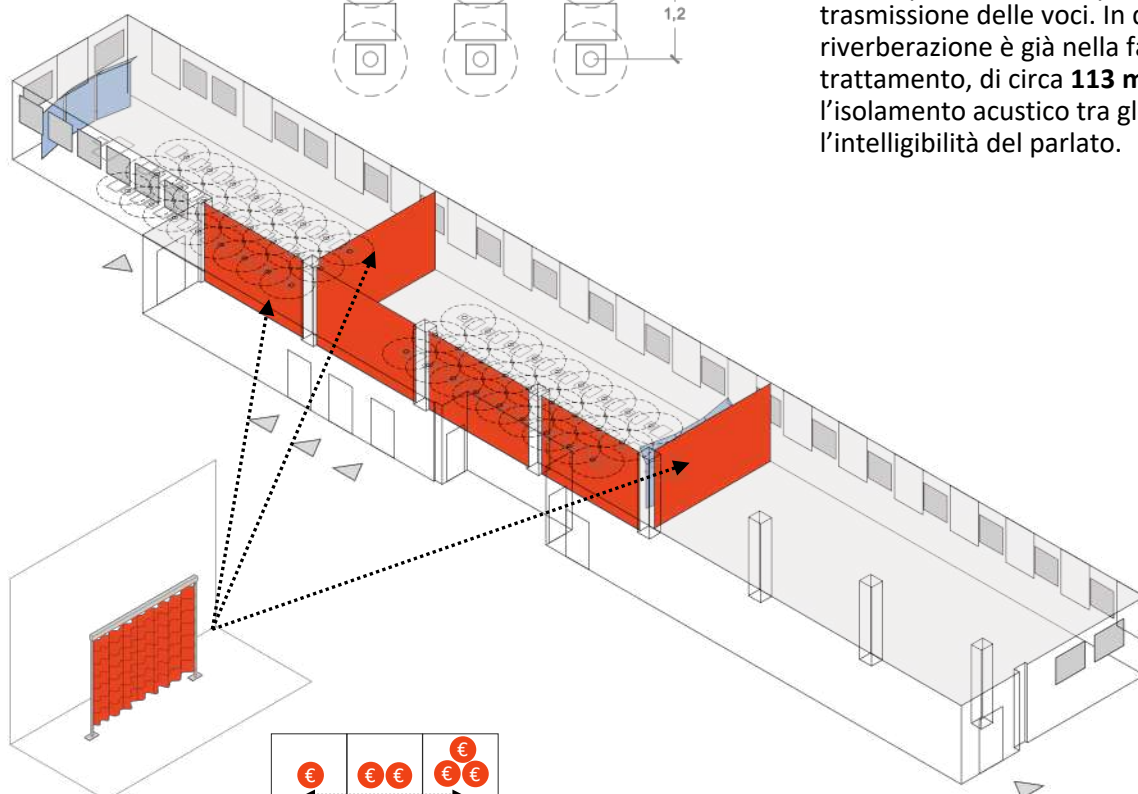
* l'altezza è stata stimata e di conseguenza anche il volume



DISPOSIZIONE BANCHI E
CATTEDRA
inserimento di n.2 classi
(27+24 alunni)

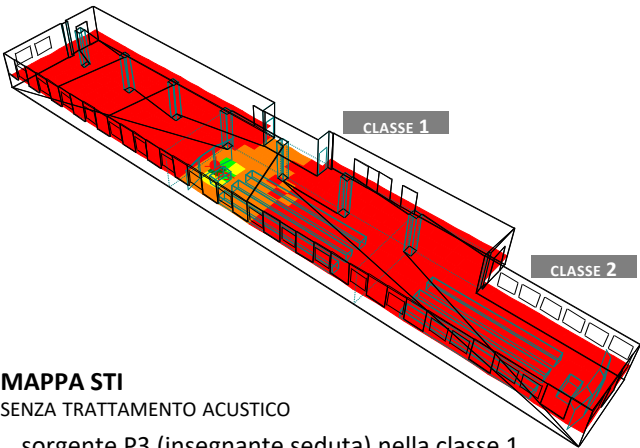


- pannelli a parete già presenti
- soffitto mediamente fonoassorbente (già presente)
- conchiglia acustica
- trattamento fonoassorbente: realizzando due aule temporanee in un unico spazio, il trattamento deve essere posto intorno all'area occupata dagli alunni, cercando di chiuderlo il più possibile in altezza per diminuire il più possibile la trasmissione delle voci. In questo caso il tempo di riverberazione è già nella fascia ottimale, il trattamento, di circa **113 m²**, è fondamentale per l'isolamento acustico tra gli ambienti e per l'intelligibilità del parlato.

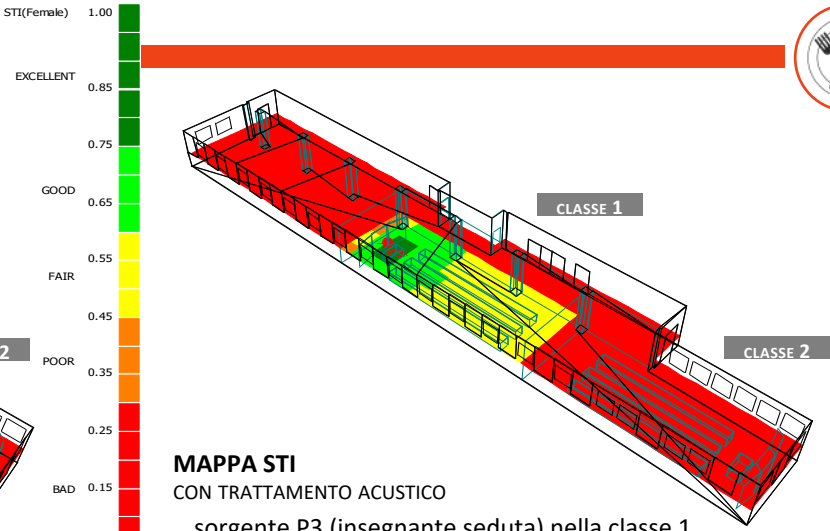


0 5 10

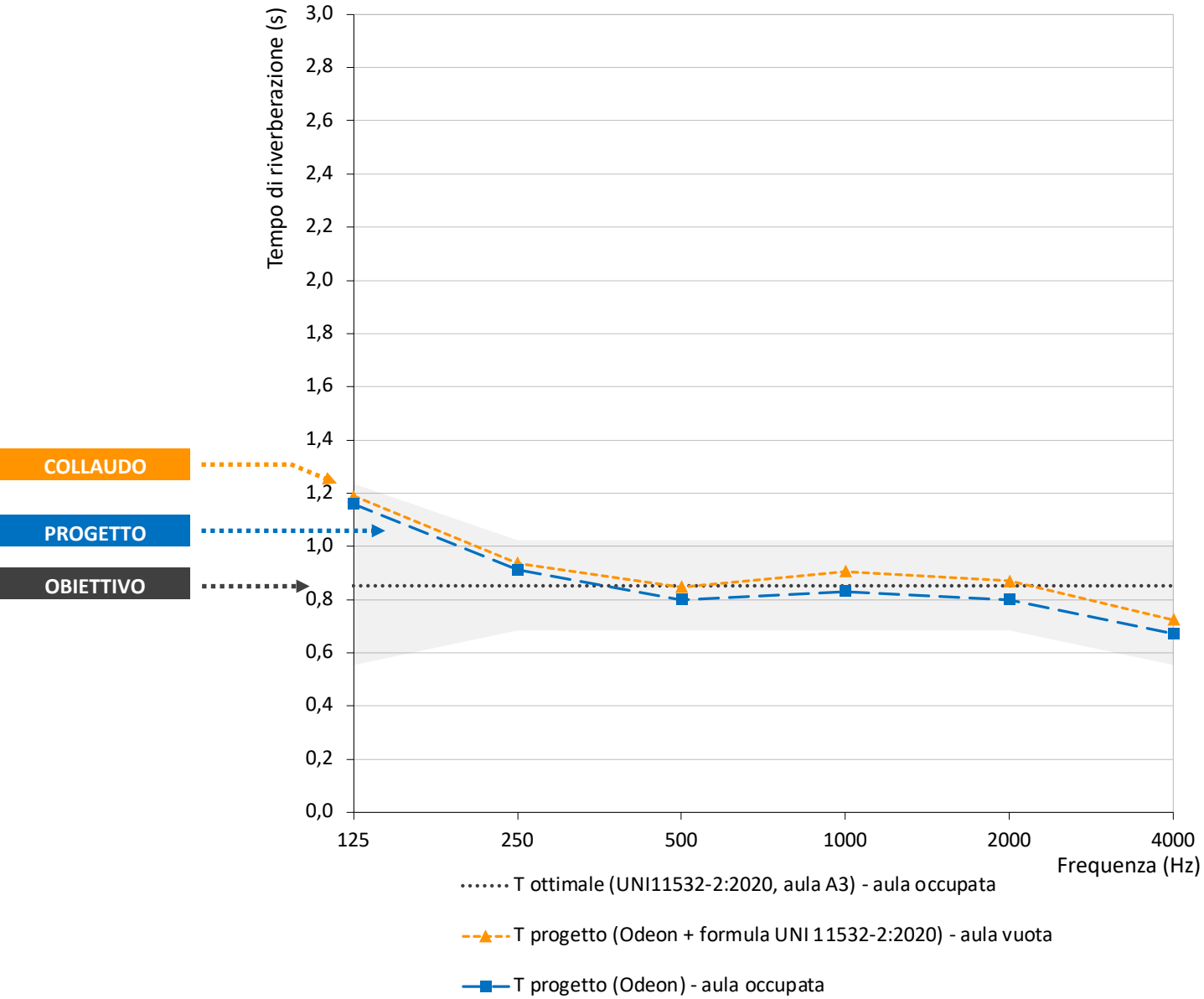
1. ANALISI GENERALE



MAPPA STI
SENZA TRATTAMENTO ACUSTICO
_ sorgente P3 (insegnante seduta) nella classe 1
_ rumore di fondo NC45 (2 classi in presenza)



MAPPA STI
CON TRATTAMENTO ACUSTICO
_ sorgente P3 (insegnante seduta) nella classe 1
_ rumore di fondo NC35 (2 classi in presenza)



	Tempo di riverberazione, T (s)						T _m (250-500-1000-2000 Hz)
	125	250	500	1000	2000	4000	
T ottimale (UNI11532-2:2020, aula A3) - aula occupata	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,9
T progetto (Odeon + formula UNI 11532-2:2020) - aula vuota	1,19	0,94	0,85	0,91	0,87	0,72	0,9
T progetto (Odeon) - aula occupata	1,16	0,91	0,80	0,83	0,80	0,67	0,8



CON TRATTAMENTO ACUSTICO



SENZA TRATTAMENTO ACUSTICO



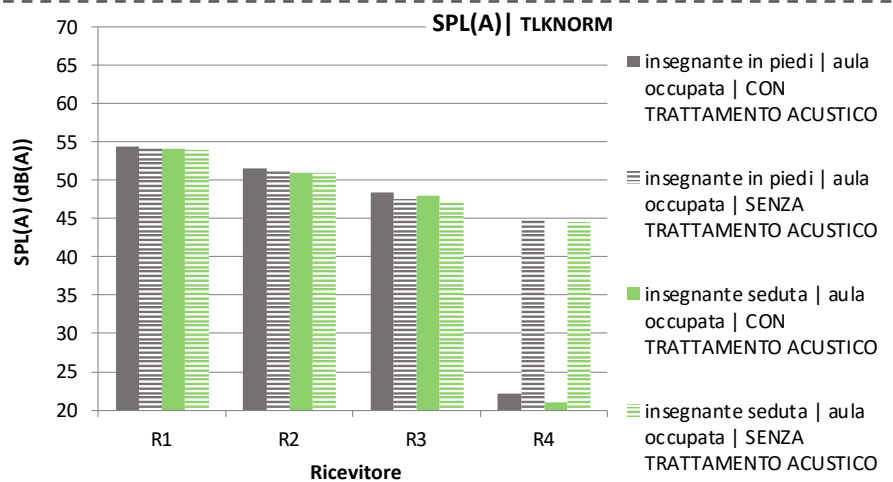
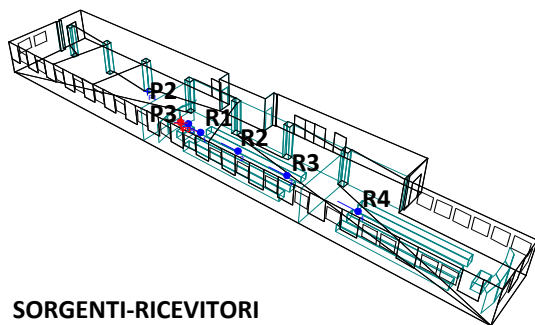
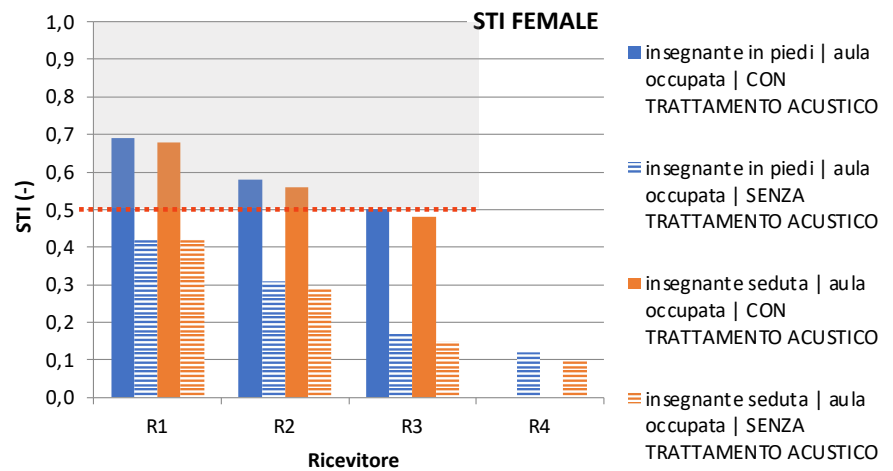
OBIETTIVO: $STI \geq 0,50$

RISULTATI: media dei valori in R1, R2 e R3. Il ricevitore in R4 non è stato considerato nella media poiché è in un altro spazio didattico: nella sua posizione il valore di STI deve essere inferiore rispetto al valore obiettivo

$STI (female)_{insegnante in piedi} = 0,59$

$STI (female)_{insegnante seduta} = 0,57$

..... obiettivo minimo intervallo di conformità



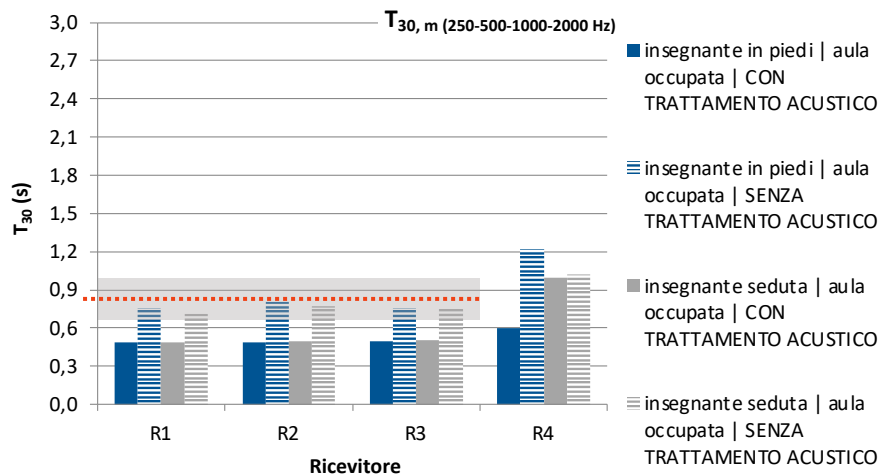
OBIETTIVO: $T_{30, m} (250-500-1000-2000 \text{ Hz}) = 0,9 \text{ s}$

RISULTATI: media dei valori in R1, R2 e R3. Il ricevitore in R4 non è stato considerato nella media poiché è in un altro spazio didattico: nella sua posizione il valore di tempo di riverberazione può essere superiore rispetto al valore obiettivo (usando come sorgente l'insegnante nello spazio didattico studiato)

$T_{30, m} (250-500-1000-2000 \text{ Hz}) = 0,5 \text{ s}$ (insegnante in piedi)

$T_{30, m} (250-500-1000-2000 \text{ Hz}) = 0,5 \text{ s}$ (insegnante seduta)

..... obiettivo intervallo di conformità



DETTAGLI

corso Dante 80, Torino
costruzione negli anni Sessanta

DESCRIZIONE

Composto da quattro padiglioni interconnessi tra di loro, aventi ognuno un numero diverso di piani, è stato costruito negli anni Sessanta e nell'anno scolastico 1968-1969 al suo interno si è trasferito il Liceo Alfieri, nato nel 1901 come sezione del Liceo Classico Massimo d'Azeglio e trasferitosi poi in una propria sede nel 1904, quando assunse il titolo di Regio Liceo «Vittorio Alfieri». L'edificio è costituito da una struttura in calcestruzzo e tamponamenti in muratura e risulta molto luminoso, poiché è caratterizzato da grandi e continue finestre vetrate.



SCUOLA SECONDARIA DI II GRADO

PIANO SESTO

PIANO QUINTO

PIANO QUARTO

PIANO TERZO

PIANO SECONDO

PIANO PRIMO

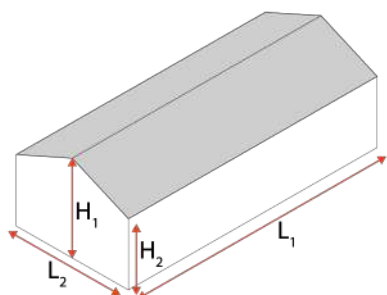
PIANO AMMEZZATO

PIANO TERRA

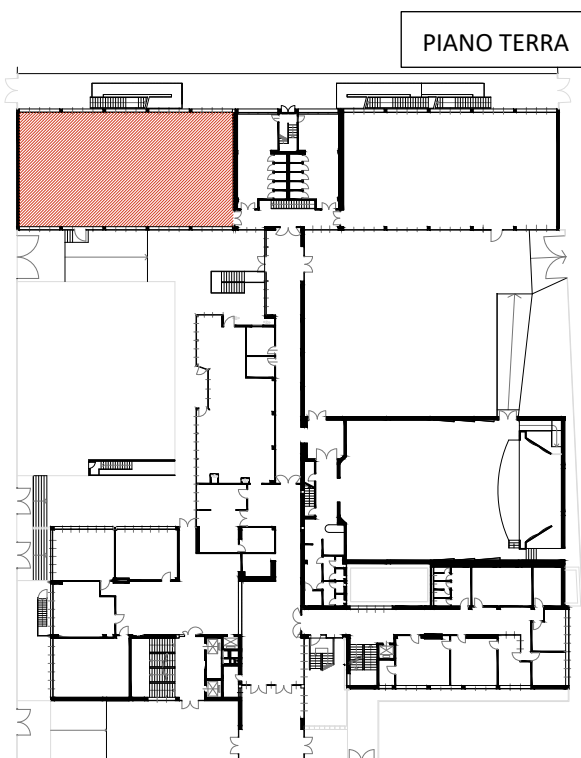
palestra

PIANO -1

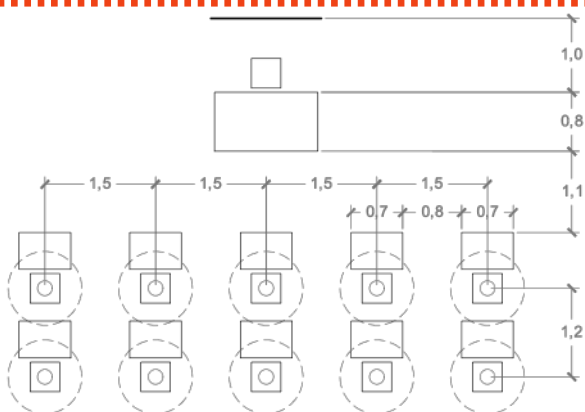
Beta Test 08 | PALESTRA



$L_1 = 25,3 \text{ m}$
 $L_2 = 13,9 \text{ m}$
 $H_1 = 8,5 \text{ m}$
 $H_2 = 7,5 \text{ m}$
 $A_{pav} = 350 \text{ m}^2$
 $V = 2.800 \text{ m}^3$



S
T
A
T
O
D
I
F
A
T
T
O

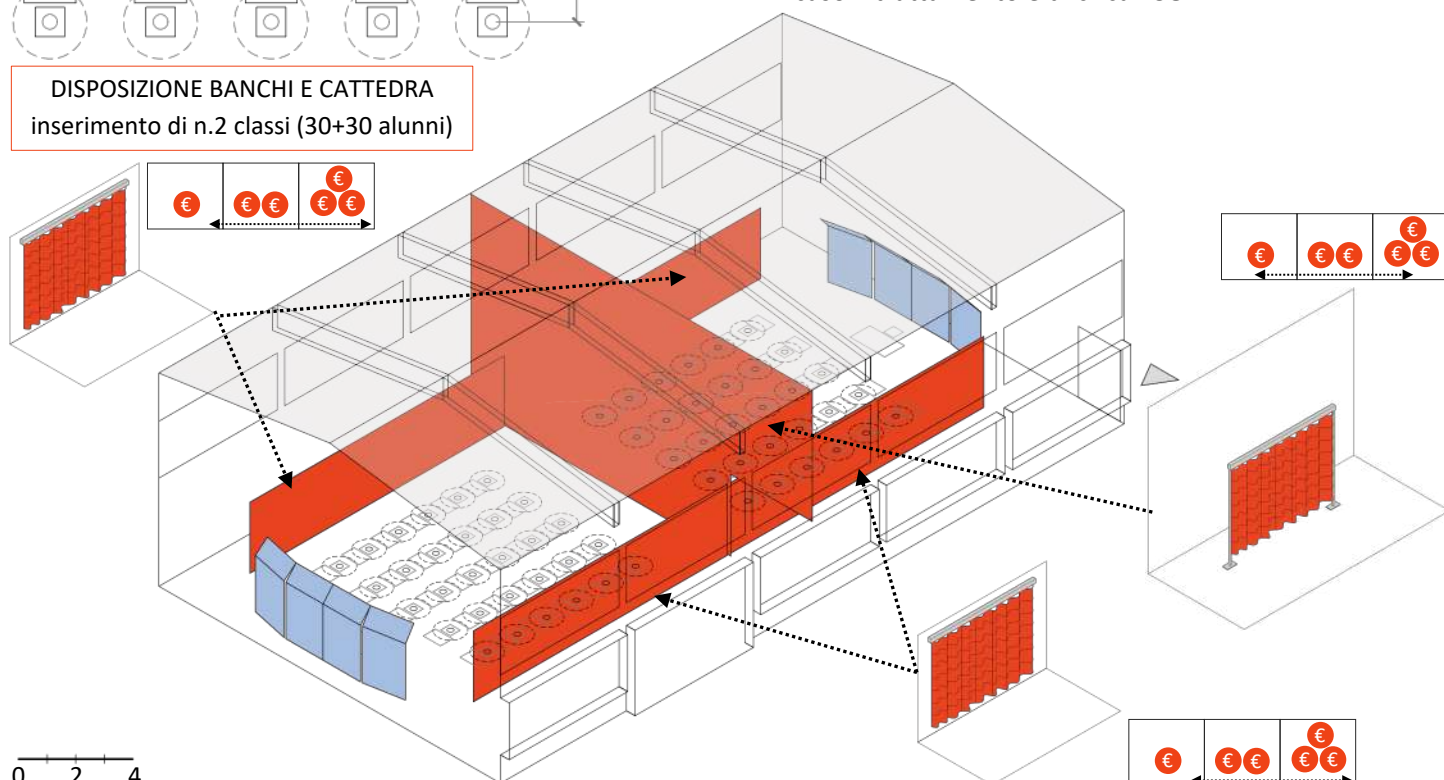


DISPOSIZIONE BANCHI E CATTEDRA
inserimento di n.2 classi (30+30 alunni)

soffitto mediamente fonoassorbente (già presente)

conchiglia acustica

trattamento fonoassorbente e fonoisolante: realizzando due aule temporanee in un unico spazio, deve essere posto intorno all'area occupata dagli alunni, lasciando solo lo spazio necessario per l'entrata e l'uscita. I tendaggi che creano un corridoio sui due lati hanno un'altezza di 2,5 m, mentre quelli divisorii tra le due aule didattiche sono a tutta altezza. In questo caso il trattamento è di circa **198 m²**.



0 2 4

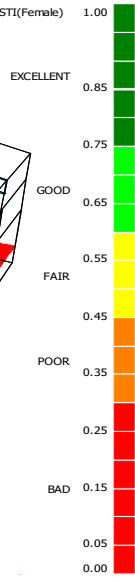
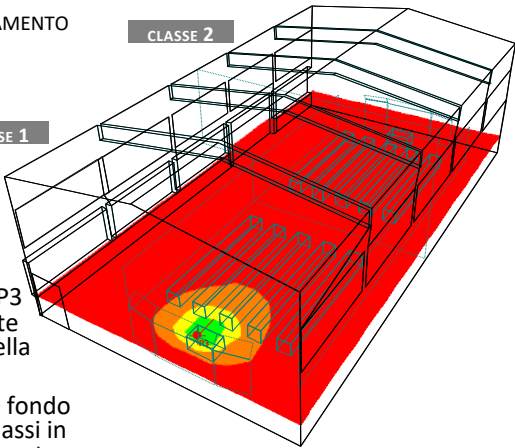
S
T
A
T
O
D
I
P
R
O
G
E
T
T
O

1. ANALISI GENERALE

MAPPA STI

SENZA TRATTAMENTO
ACUSTICO

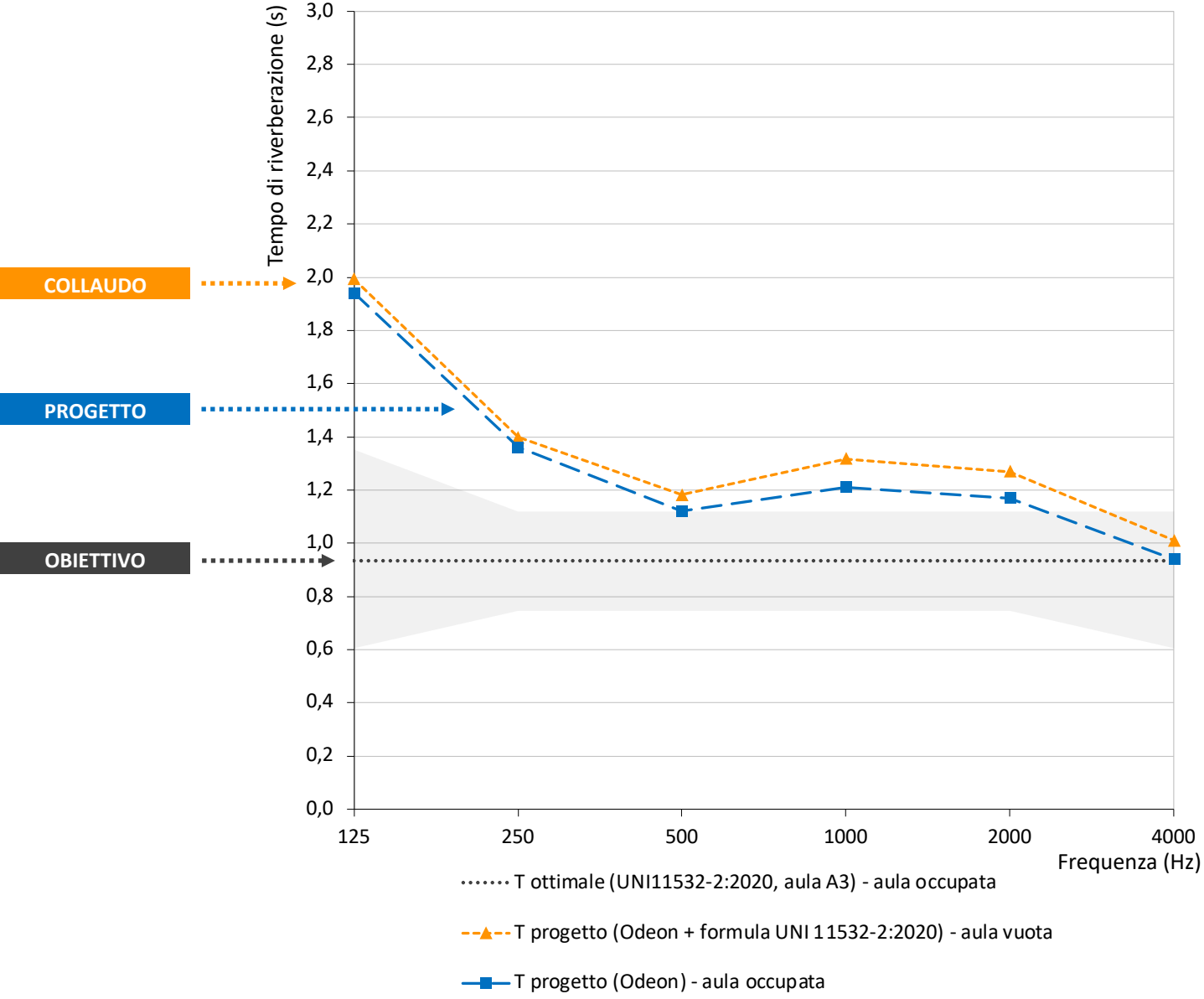
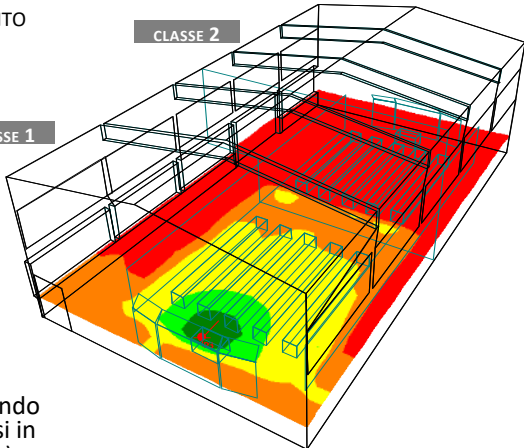
- sorgente P3 (insegnante seduta) nella classe 1
- rumore di fondo NC45 (2 classi in compresenza)



MAPPA STI

CON TRATTAMENTO
ACUSTICO

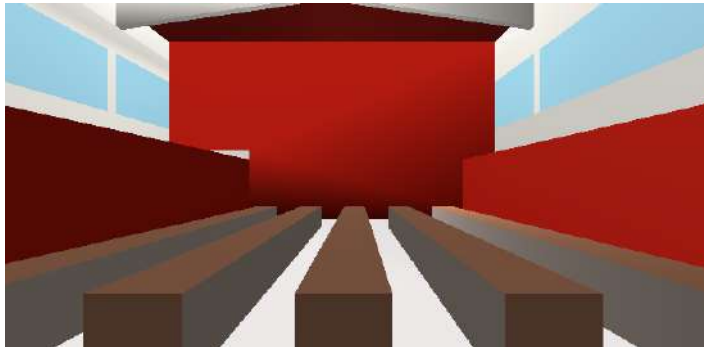
- sorgente P3 (insegnante seduta) nella classe 1
- rumore di fondo NC35 (2 classi in compresenza)



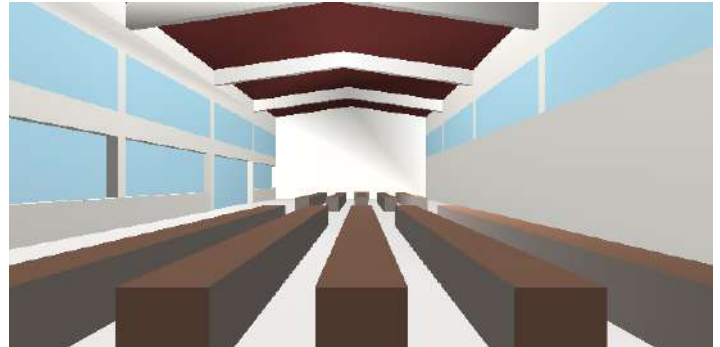
	Tempo di riverberazione, T (s)						T _m (250-500-1000-2000 Hz)
	125	250	500	1000	2000	4000	
T ottimale (UNI11532-2:2020, aula A3) - aula occupata	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,9
T progetto (Odeon + formula UNI 11532-2:2020) - aula vuota	1,99	1,40	1,18	1,32	1,27	1,01	1,3
T progetto (Odeon) - aula occupata	1,94	1,36	1,12	1,21	1,17	0,94	1,2



CON TRATTAMENTO ACUSTICO



SENZA TRATTAMENTO ACUSTICO



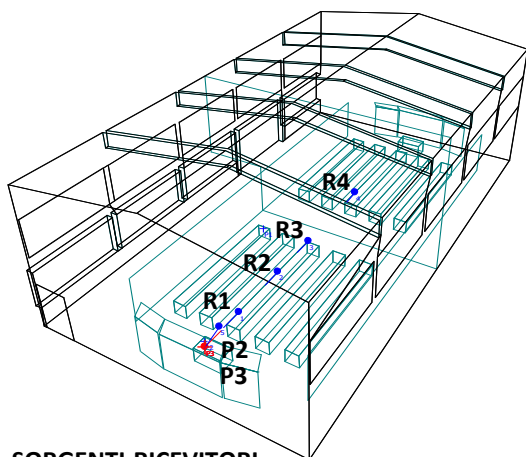
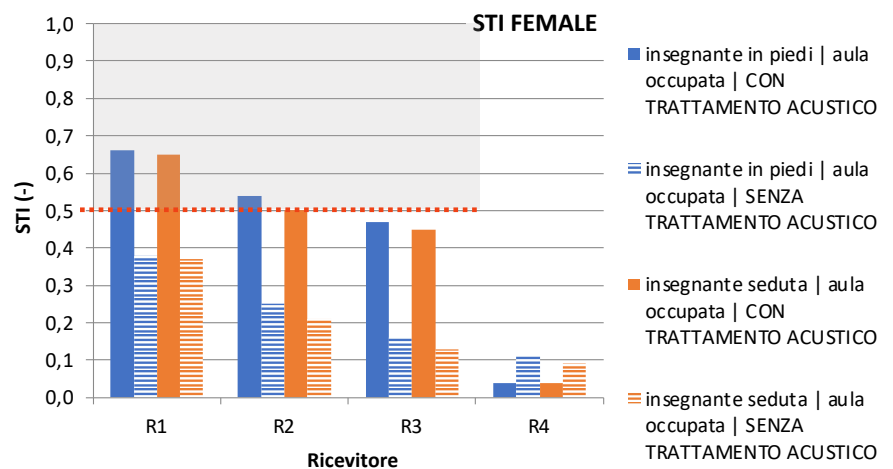
OBIETTIVO: $STI \geq 0,50$

RISULTATI: media dei valori in R1, R2 e R3. Il ricevitore in R4 non è stato considerato nella media poiché è in un altro spazio didattico: nella sua posizione il valore di STI deve essere inferiore rispetto al valore obiettivo

STI (female)_{insegnante in piedi} = 0,56

STI (female)_{insegnante seduta} = 0,53

..... obiettivo minimo intervallo di conformità



SORGENTI-RICEVITORI

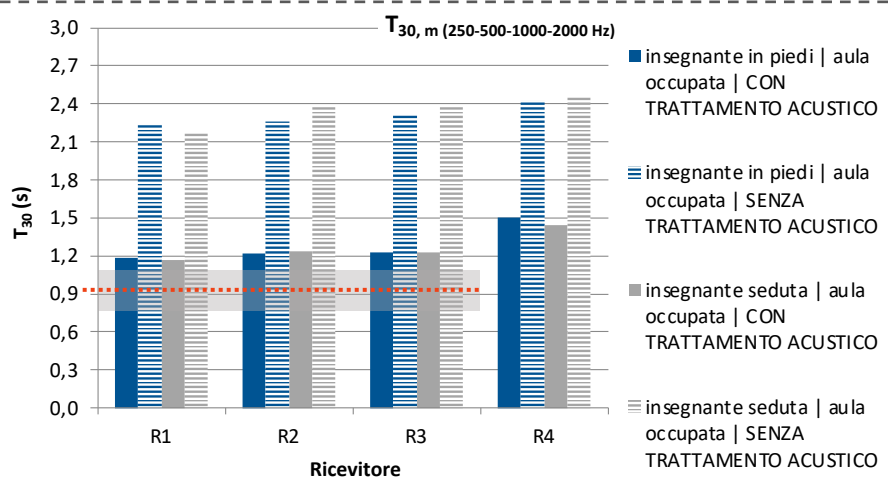
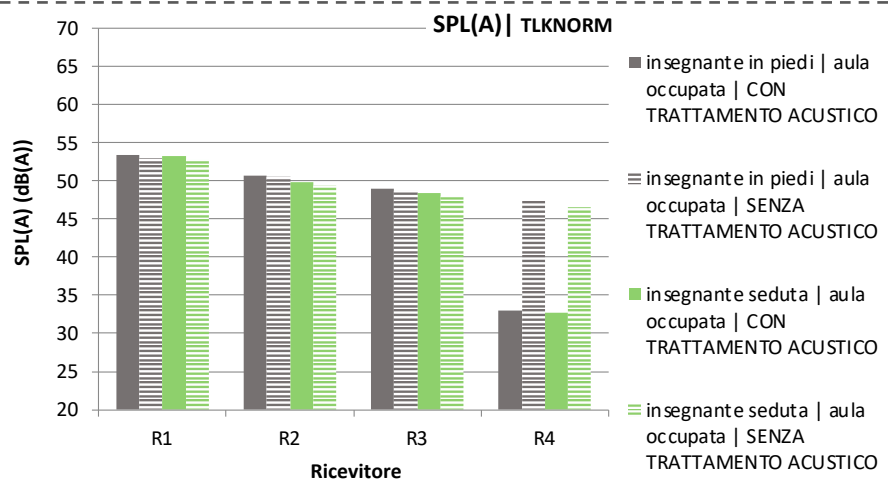
OBIETTIVO: $T_m(250-500-1000-2000 \text{ Hz}) = 0,9 \text{ s}$

RISULTATI: media dei valori in R1, R2 e R3. Il ricevitore in R4 non è stato considerato nella media poiché è in un altro spazio didattico: nella sua posizione il valore di tempo di riverberazione può essere superiore rispetto al valore obiettivo (usando come sorgente l'insegnante nello spazio didattico studiato)

$T_{30, m(250-500-1000-2000 \text{ Hz})} = 1,2 \text{ s}$ (insegnante in piedi)

$T_{30, m(250-500-1000-2000 \text{ Hz})} = 1,2 \text{ s}$ (insegnante seduta)

..... obiettivo intervallo di conformità



Conclusioni

Lo studio è nato dall'esigenza di poter disporre di spazi per la didattica più ampi dove sia possibile garantire il distanziamento fra gli occupanti richiesto per limitare il contagio da COVID 19, assicurando un'acustica funzionale allo svolgimento delle lezioni.

I contenuti hanno vari gradi di approfondimento e sono utili per le diverse figure professionali: dirigenti scolastici, responsabili della sicurezza, architetti, ingegneri e consulenti acustici e per tutti coloro che debbano risolvere problemi di conversione di spazi diversi in ambienti per la didattica.

Si sottolineano i seguenti aspetti:

- le considerazioni riportate in questo documento hanno valore d'indirizzo e possono essere utilizzate qualora si riscontrino simili tipologie costruttive, forme e volumetrie;
- le soluzioni proposte sono un compromesso per ottenere una buona condizione acustica ad un costo accessibile, considerando la reversibilità degli interventi;
- i Beta Test effettuati rappresentano una vasta casistica degli spazi scolastici, ma non la loro totalità. Per spazi particolarmente complessi, per conformazione, dimensioni, elementi già presenti nello stato di fatto, si consiglia di rivolgersi a un consulente acustico per delle soluzioni *ad hoc*.