



STUDIO  
SOUND  
SERVICE

# Acustica: Isolamento, Trattamento acustico e intelligibilità del parlato

# Chi siamo



## Tra i progetti più importanti:

- Barys Arena (ice hockey) @ Astana, Kazakhstan;
- FOX post-production studios @ München (DE);
- FOX post-production studios @ Hammersmith, London (UK);
- D:POT Recording Arts @ Prato – Fabrizio Simoncioni;
- Mulinetti Studio @ Genova – Alberto Parodi (Resolution Award 2015 Best Audio Facility, Nomination);
- The Garage @ Civitella v.d.C. (AR) (Resolution Award 2014 Best Audio Facility, Nomination);
- House of Glass @ Viareggio (LU) – Gianni Bini (Resolution Award 2013 Best Audio Facility, Nomination);
- Studio Renato Zero @ Roma;
- Damian Lazarus – Monastic Studio @ Vicchio (FI);
- Vinai Studio @ Brescia;
- PPG Studios (Andrea Bocelli) @ S. Pietro Belvedere (PI);
- In House (Dolby® approved - Sorrentino) @ Roma;
- George Lucas Home Theater, Italy;
- Chiesa di Santa Maria Nuova (Arch. Mario Botta) @ Terranuova Bracciolini (AR);
- Prada Auditorium and Conference Room via Orobica @ Milano;
- Sala Proiezioni Museo Ferrari @ Maranello (MO);
- Nuovo impianto audio del Duomo di Siena;
- EVAC aeroporto Bahain e Islamabad (THALES).

# Audio Facilities

(studi di registrazione etc.)

# Bagnoli bros. studio

Castelnovo ne' Monti — RE



**Vinai**

Brescia



# Renato Zero

Roma



# Fox - NatGeo

Hammersmith, London UK



# inHouse

Roma



# Kalimba Studio

Monselice – PD



# Platinum Studio Diego Calvetti

San Gimignano - SI



# House of Glass Gianni Bini

Viareggio



# Mulinetti Alberto Parodi

Genova



# D:POT recording arts Fabrizio Simoncioni – Litfiba

Prato



# Officina Sonora del Bigallo

Bagno a Ripoli - FI



# Sudestudio

Guagnano - LE



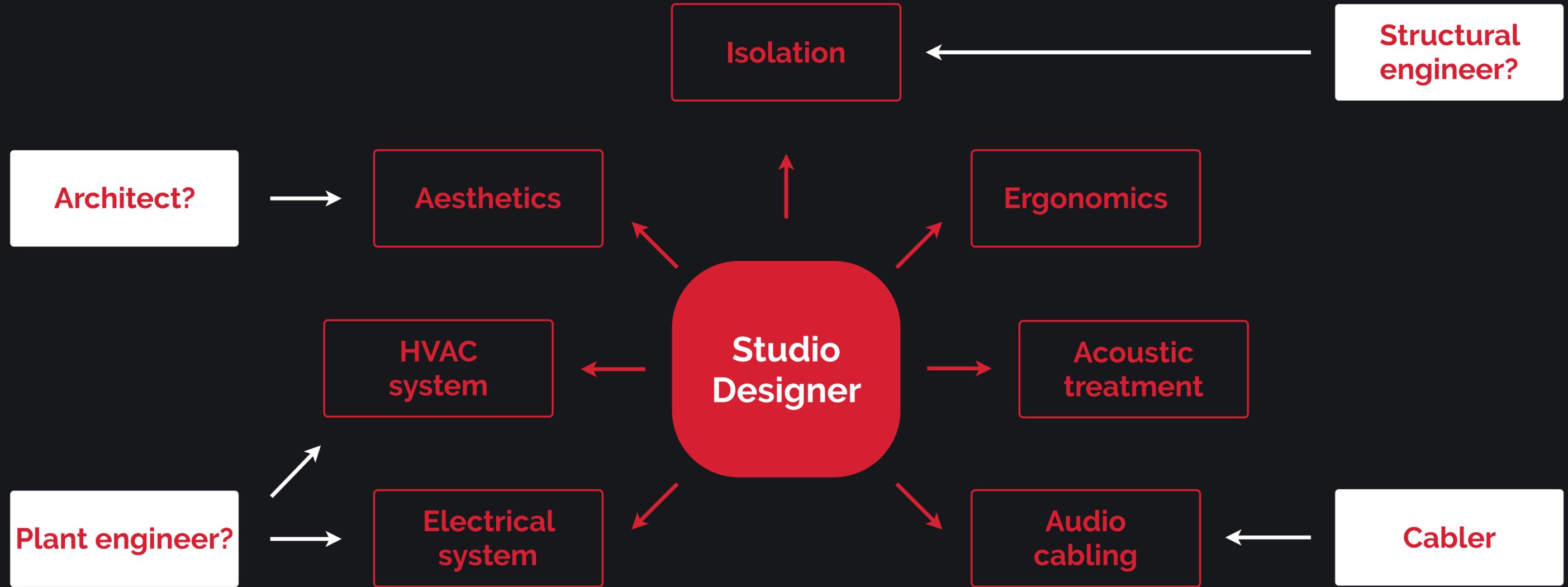
---

## Come progettare uno studio?

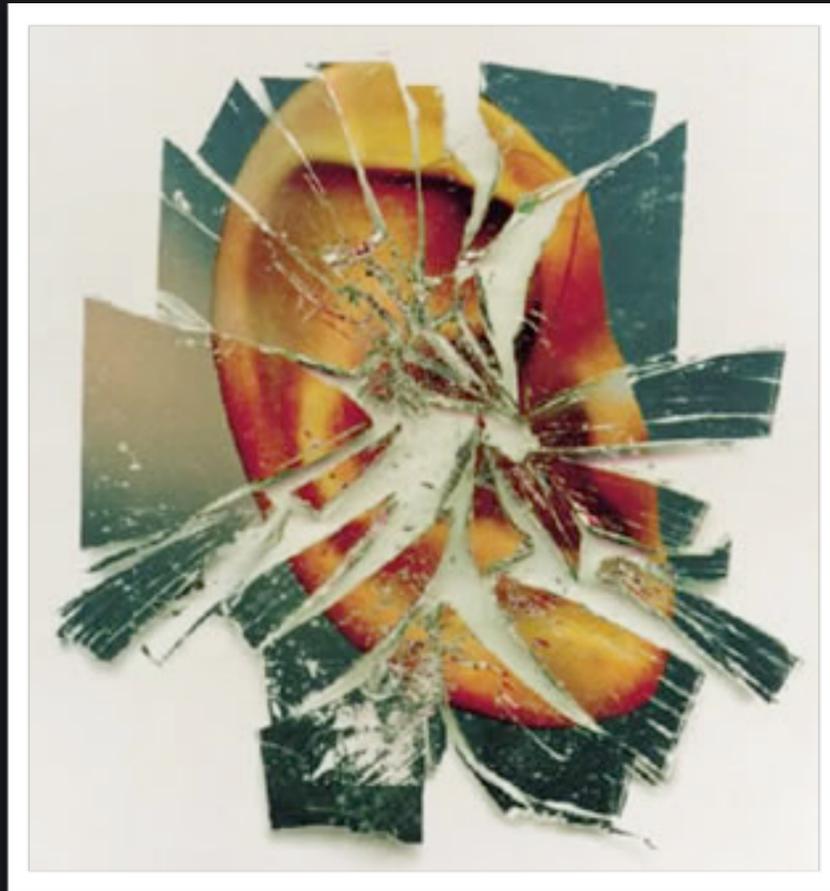
- A. I software CAD acustici (EASE, CATT, ODEON) non lavorano a frequenze inferiori a 100 Hz, non possono simulare la risposta modale della stanza.
- B. I software FEM (COMSOL) possono essere utili per le basse frequenze, ma non sono così utilizzati (non esistono ad oggi software “semplici” da usare).

---

Quindi, di norma, si usa soltanto fisica di base, geometria, esperienza e **design standard**



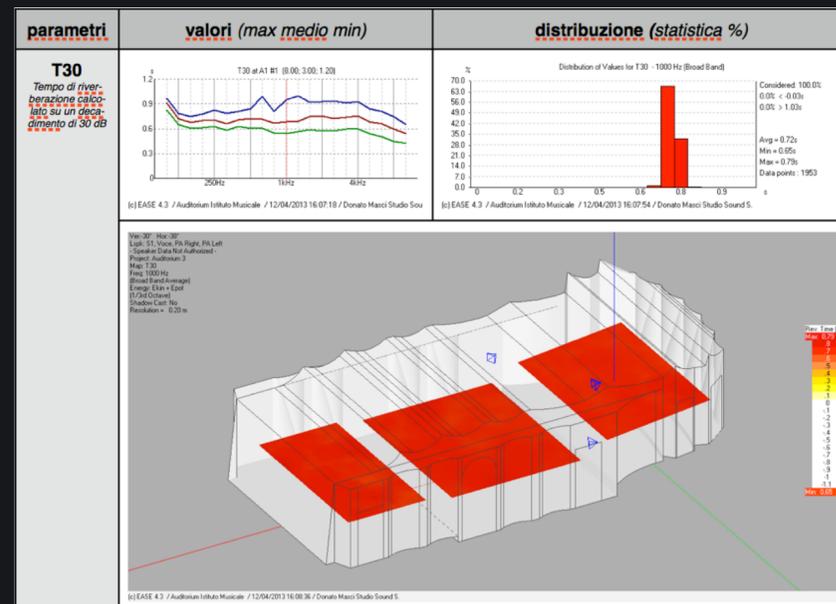
# Come si “progetta” l’acustica?



## ISOLAMENTO ACUSTICO e CONTROLLO DEL RUMORE

Principali interventi:

- A. Requisiti acustici passivi degli edifici:
  - 1. isolamento di facciata;
  - 2. isolamento fra unità abitative o ambienti diversi;
  - 3. controllo rumorosità da calpestio;
  - 4. controllo rumorosità impianti.
  
- B. Impatto acustico dell'attività
  - 1. certificazione e limitazione di impianti elettroacustici;
  - 2. analisi del rumore antropico etc.



## CORREZIONE ACUSTICA DELL'INTERNO

Principali interventi:

- A. Fonoassorbimento (controllo del tempo di riverberazione) → *comfort acustico*
- B. Miglioramento e ottimizzazione della diffusione sonora (acustica e amplificata)
- C. Miglioramento dell'intelligibilità della parola/musica
- D. Predisposizione di impianti elettroacustici (EVAC?)

---

Normative:  
**Requisiti acustici passivi degli edifici**

- A. DPCM 05/12/97 (LEGGE!)
- B. UNI 11367:2010 → (aggiornamento 2018?)  
*Acustica in edilizia - Classificazione acustica delle unità immobiliari - Procedura di valutazione e verifica in opera*
  - Indice del potere fonoisolante apparente –  $R'_{w}$
  - Indice di rumore da calpestio normalizzato –  $L'_{nw}$
  - Isolamento acustico di facciata –  $D_{2m,nT,w}$
  - Indice di rumorosità degli impianti a ciclo continuo e discontinuo –  $L_{ic}$  e  $L_{id}$

---

**Acustica dell'interno**  
(per comunicazione e comfort)

- A. UNI 11532:2014 → UNI 11532-1 ... -7(?):2018  
*Caratteristiche acustiche interne di ambienti confinati - Metodi di progettazione e tecniche di valutazione*
  - Tempo di riverberazione –  $T_{30}$
  - Intelligibilità del parlato – STI
  - Privacy (?) –  $DL_1$  e  $DL_2$
  - Livello rumorosità impianti –  $L_{ic,Int}$

## Categorie della 11532:2018

- A. 3.1.1 **spazi comuni**: Luoghi destinati ad accogliere temporaneamente persone all'interno di strutture di uso pubblico/privato/collettivo (per esempio atrii e sale d'attesa);
- B. 3.1.2 **sale conferenze e/o polifunzionali, di piccole dimensioni**: Ambienti destinati a diverse funzioni quali parlato, musica, esposizioni temporanee.
- C. 3.1.3 **spazi del settore espositivo**: Luoghi confinati prevalentemente finalizzati all'esposizione di beni all'interno di spazi definiti.
- D. 3.1.4. **spazi del settore fieristico**: Luoghi confinati prevalentemente finalizzati all'esposizione di beni e servizi all'interno di spazi definiti e/o strutture organizzate che costituiscano centri generatori di significativi flussi di utenti (per esempio fiere espositive).
- E. 3.1.5. **spazi del settore museale**: Luoghi confinati prevalentemente finalizzati all'esposizione di opere d'arte all'interno di spazi definiti.
- F. 3.1.6 **spazi del settore ristorazione**: Spazi destinati alla somministrazione di cibi e/o bevande quali ad esempio bar, caffè, osterie, birrerie, paninoteche, gelaterie, pasticcerie, ristoranti, trattorie, tavole calde, self service, pizzerie, mense di ogni tipo, mense scolastiche, mense aziendali.
- G. 3.1.7 **spazi del settore sanitario**: Ambienti ospedalieri quali sale d'attesa, camere di degenza e di cura, ambulatori, studi d'esame e consultazione, uffici per personale medico e paramedico, sale di riposo del personale, locali e corridoi accessibili al pubblico. Sono escluse le sale operatorie, gli ambienti per attività chirurgica e di medicazione.
- H. 3.1.8 **spazi del settore scolastico**: Qualsiasi ambiente funzionale in scuole, di ogni ordine e grado, ove permangano e transitino persone, con la sola esclusione di mense e palestre.
- I. 3.1.9 **spazi del settore sportivo/ricreativo**: Spazi destinati allo svolgimento di attività sportive di ogni genere e tipo in strutture confinate, quali ad esempio piscine, palestre, ad esclusione dei palasport e di altri ambienti di grandi dimensioni.
- J. 3.1.10 **spazi del settore terziario**: Uffici e studi tecnici e/o professionali compresi open space con eventuali spazi aperti al pubblico.

---

Il lavoro a step:

## Analisi preliminare

- A. Misure acustiche e stato di fatto:
  - *analisi delle criticità e problematiche.*
- B. Interfaccia con il resto della progettazione:
  - *destinazione d'uso;*
  - *estetica;*
  - *problematiche di tipo edilizio (ignifugo, VVFF etc);*
  - *impianti HVAC;*
  - *impianti audio/video/EVAC.*

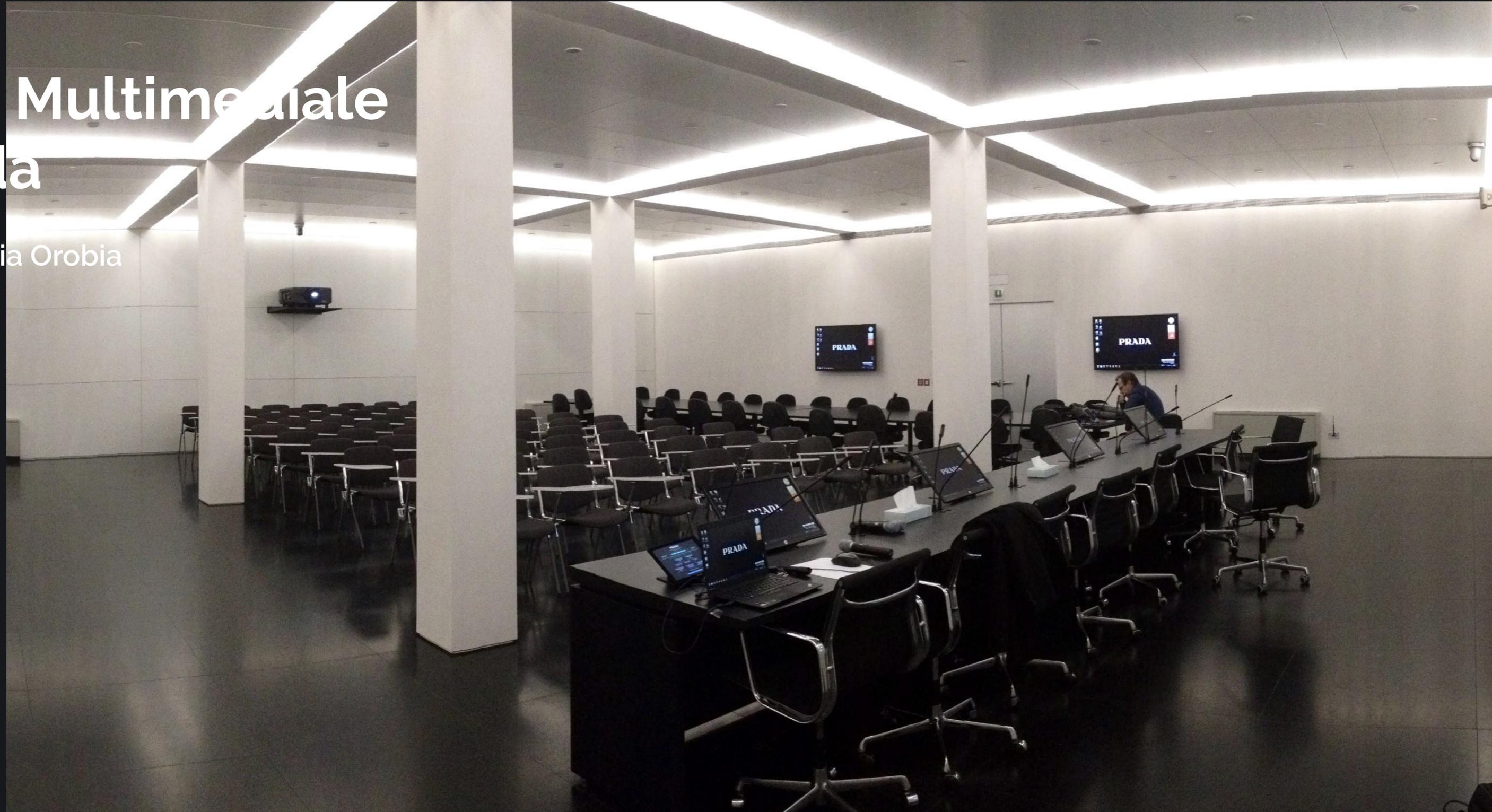
---

## Soluzioni e progettazione

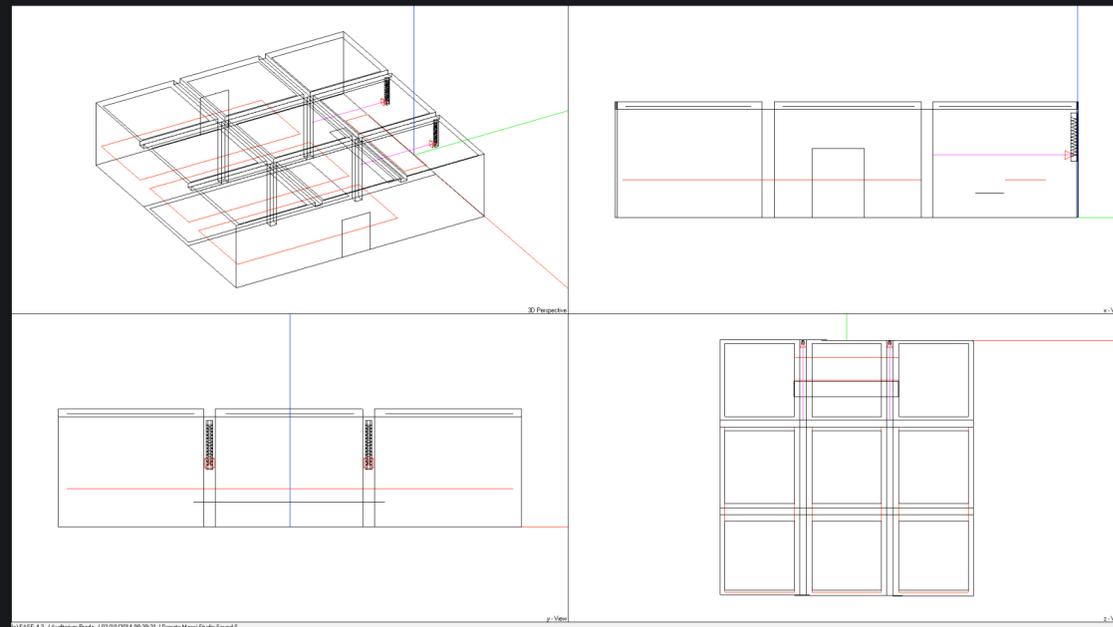
- C. Acustica geometrica.
- D. Studio al CAD acustico:
  - *scelta e posizionamento dei materiali;*
  - *scelta e posizionamento delle sorgenti sonore;*
  - *quantificazione interventi VS target.*
- E. Direzione e supporto per i lavori.
- F. Misure finali, collaudo e fine tuning impianto.

# Sala Multimediale Prada

Milano, via Orobica

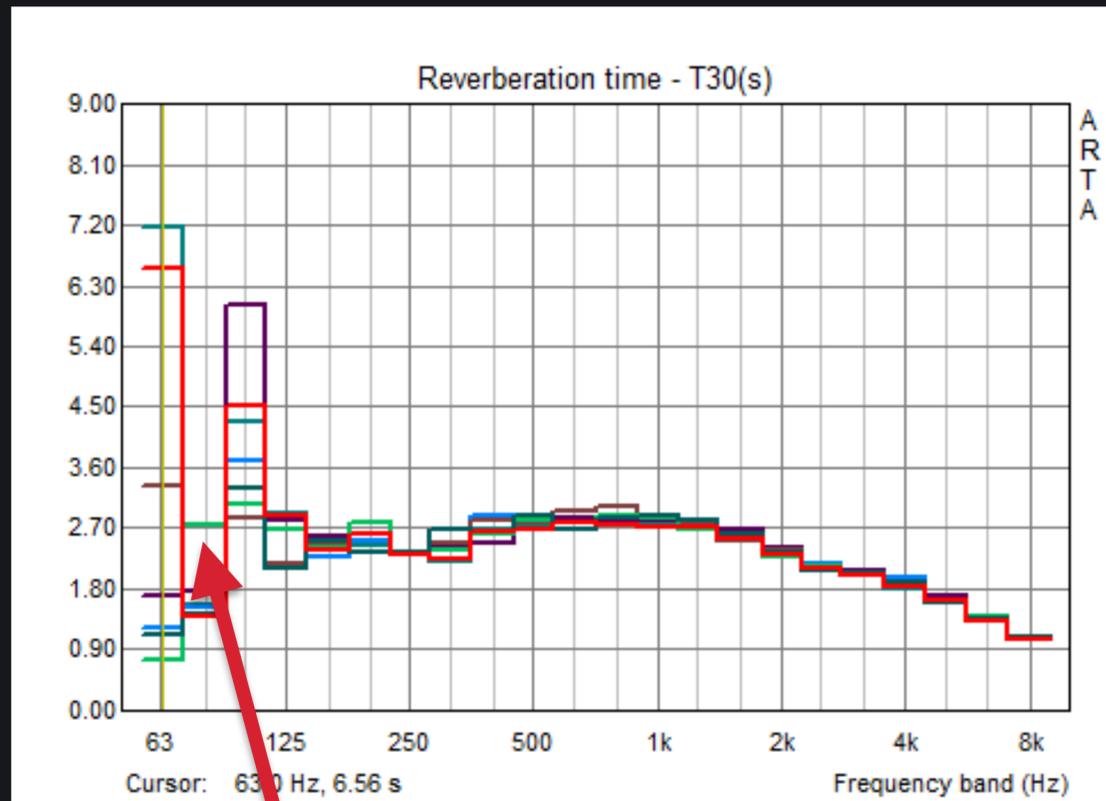


## Il lavoro a step



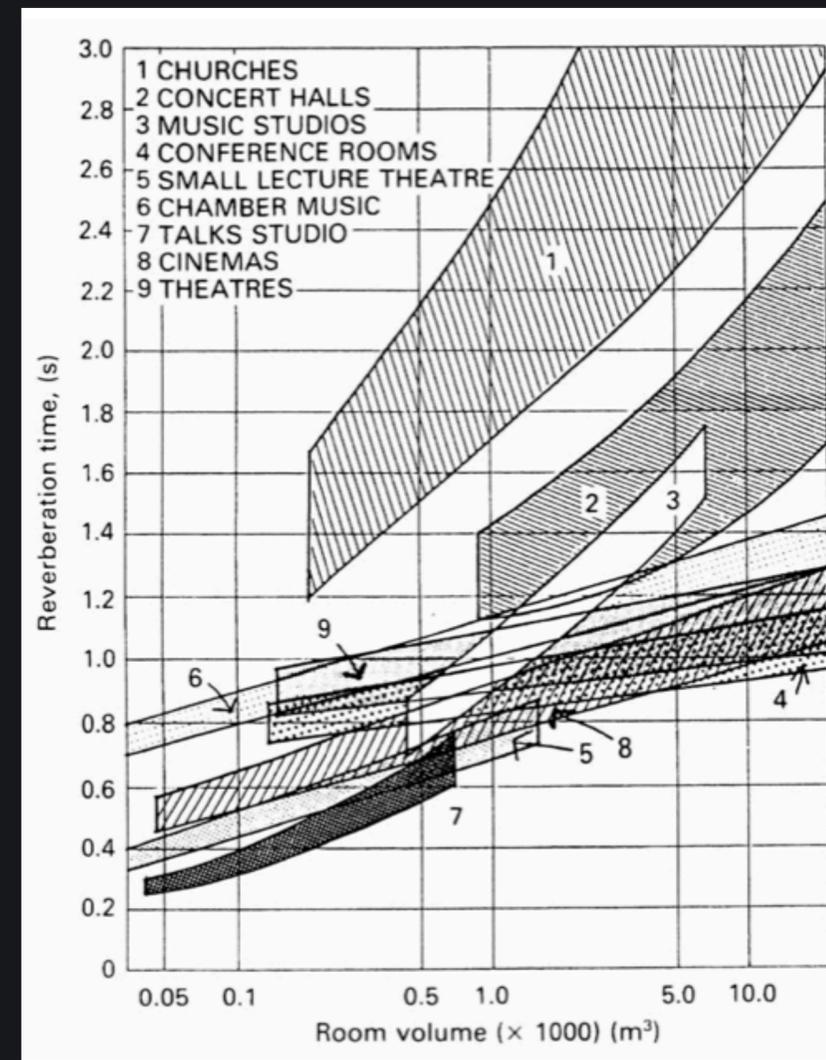
- A. Analisi dello stato di fatto con misure → criticità:
- A. lunga riverberazione;
  - B. scarsa intelligibilità del parlato;
  - C. problemi con feedback dei microfoni;
  - D. posizionamento line array problematico.
- B. Analisi delle possibili soluzioni da integrare architettonicamente:
- 1. solo bianco e nero;
  - 2. soluzioni minimali;
  - 3. possibile integrazione con illuminazione;
  - 4. non toccare la parete di proiezione.
- C. Progettazione acustica interventi:
- 1. modello previsionale al CAD acustico → scelta delle superfici da trattare;
  - 2. scelta dei materiali esteticamente compatibili e acusticamente performanti → pannello microforato con doppia perforazione.

## Misure acustiche



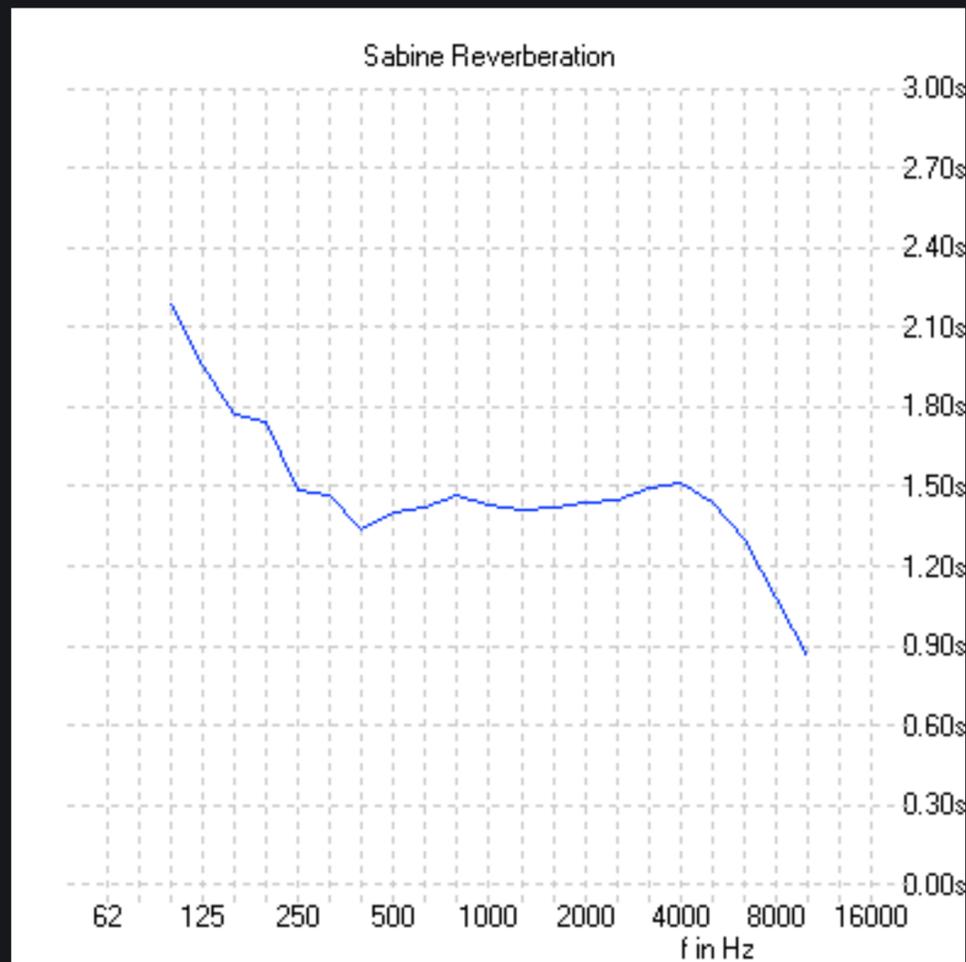
in questo range le misure sono poco attendibili perché effettuate con un sistema che arriva fino a 100 Hz.

Tempo di riverberazione lungo per la destinazione d'uso e per il volume della stanza:  
dovrebbe essere  $0.8 \div 1$  s invece è circa 3 s @ 500 Hz.



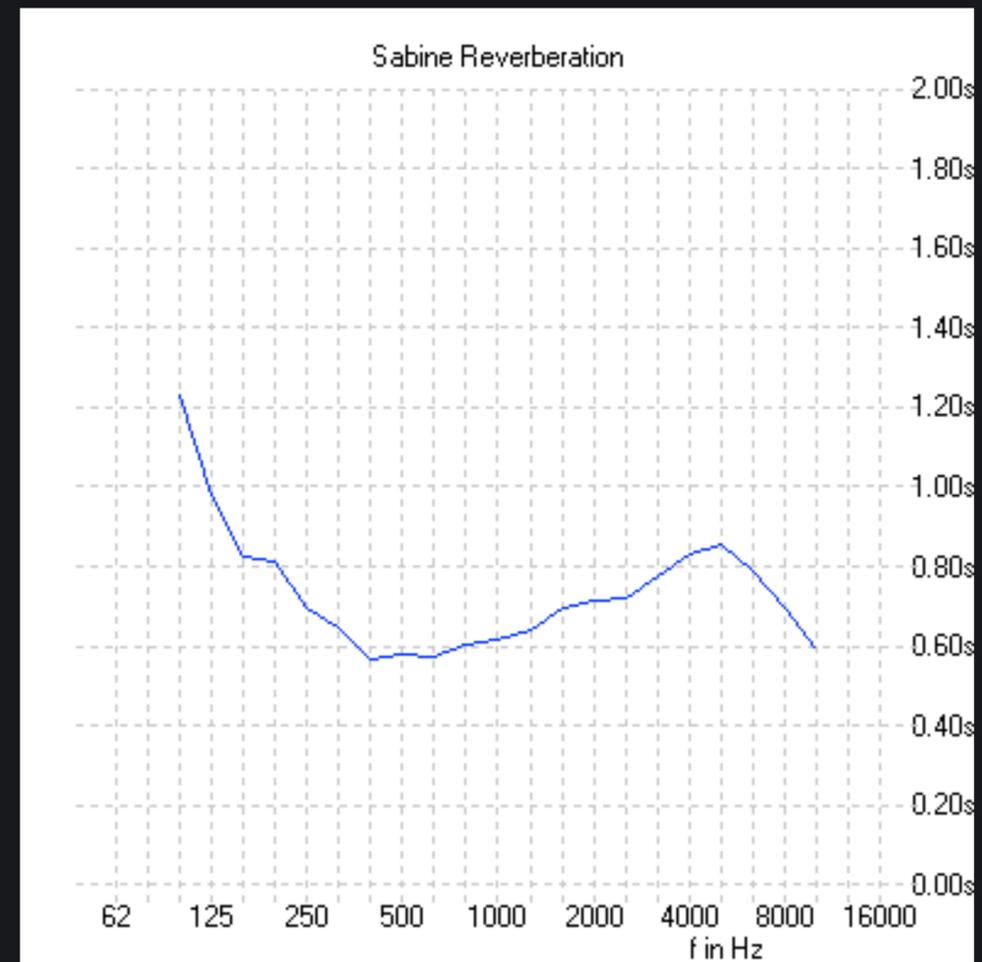
## Analisi al CAD acustico degli interventi

### Solo parete retro



(c) EASE 4.3 / Auditorium Prada / 01/10/2014 13:37:36 / Donato Masci Studio S

### Parete retro + soffitto



(c) EASE 4.3 / Auditorium Prada / 02/10/2014 08:42:59 / Donato Masci Studio S



posizionamento materiale fonoassorbente e telaio per pannelli microforati



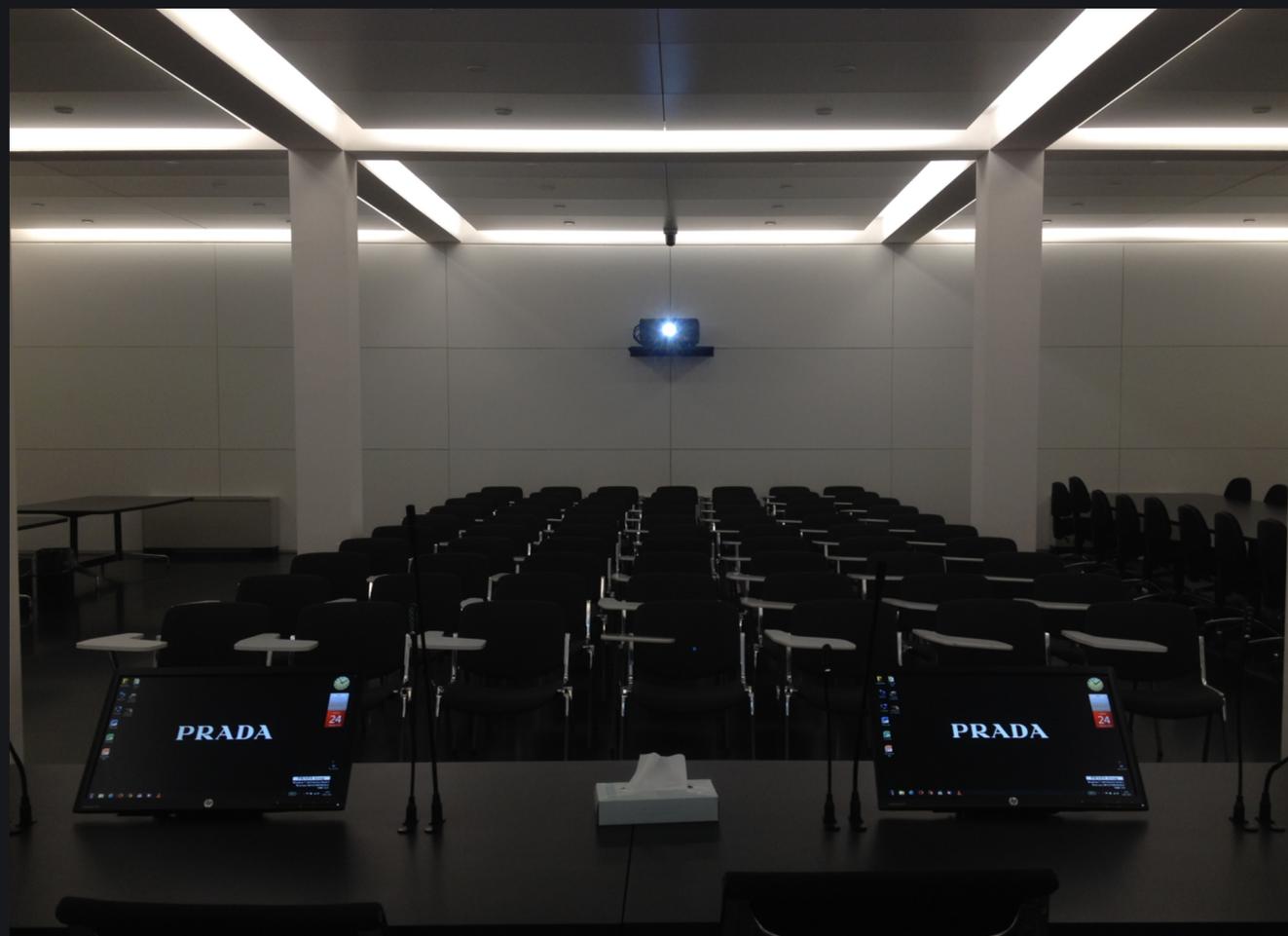
pannelli microforati: si nota la doppia perforazione, davanti e dietro



il veloce cantiere al lavoro



il veloce cantiere al lavoro



parete sul retro trattata e soffitto



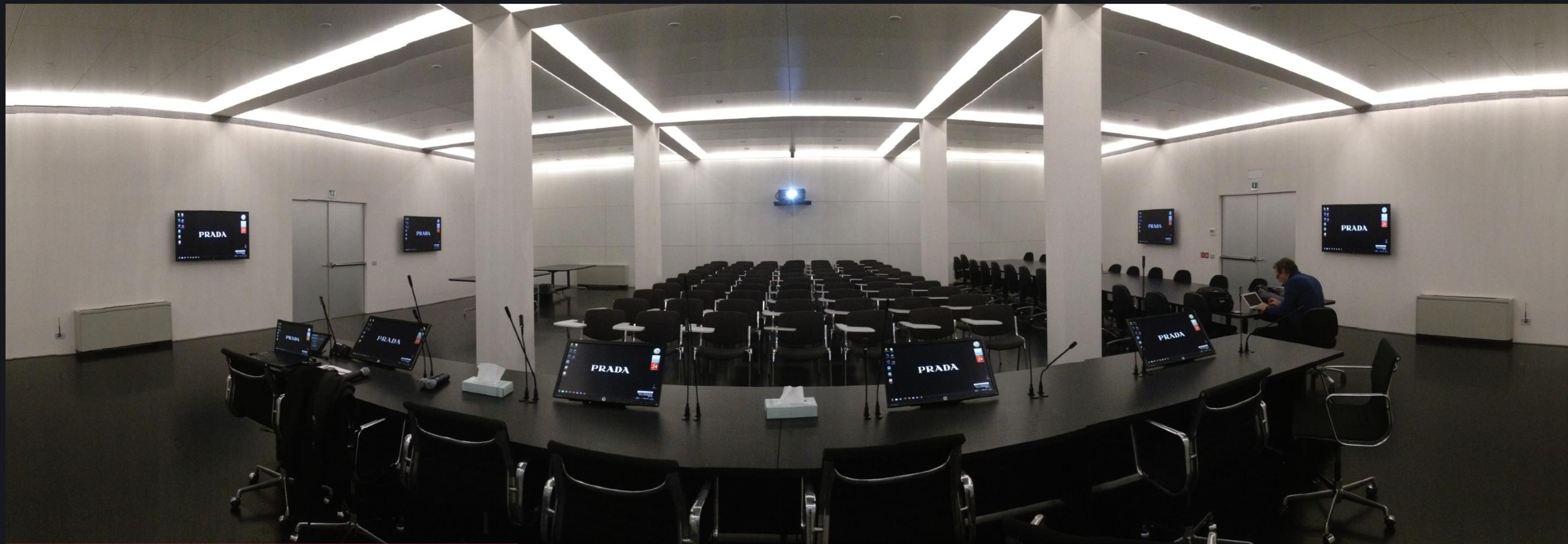
il laterale è rimasto così com'era



integrazione della correzione acustica con  
la tecnologia



integrazione della correzione acustica con  
l'illuminazione



la sala ora è molto più gestibile per qualsiasi tipo di evento



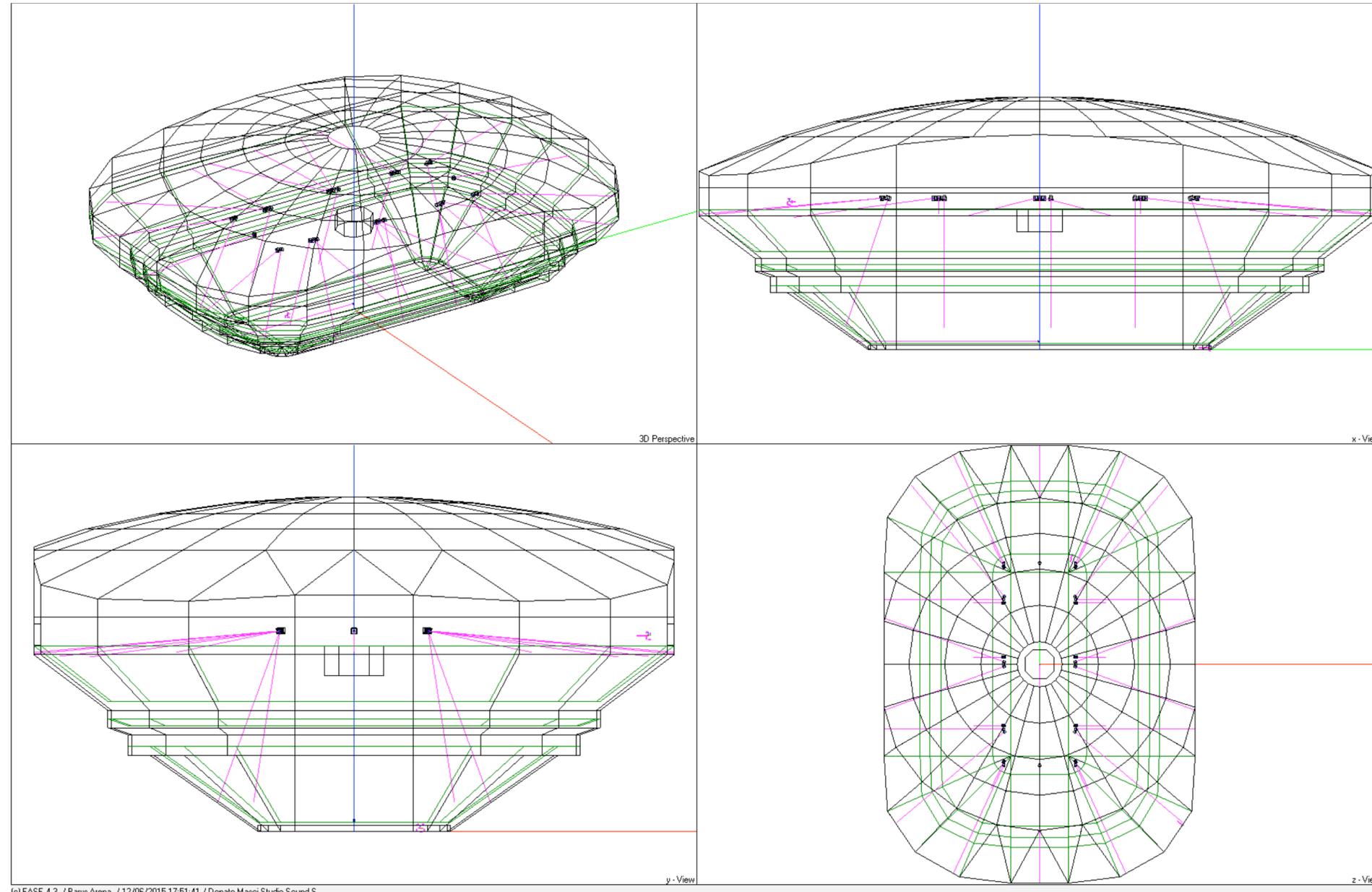
è stato effettuato anche il fine tuning dell'impianto a direttività controllato e dei microfoni

# Barys Arena

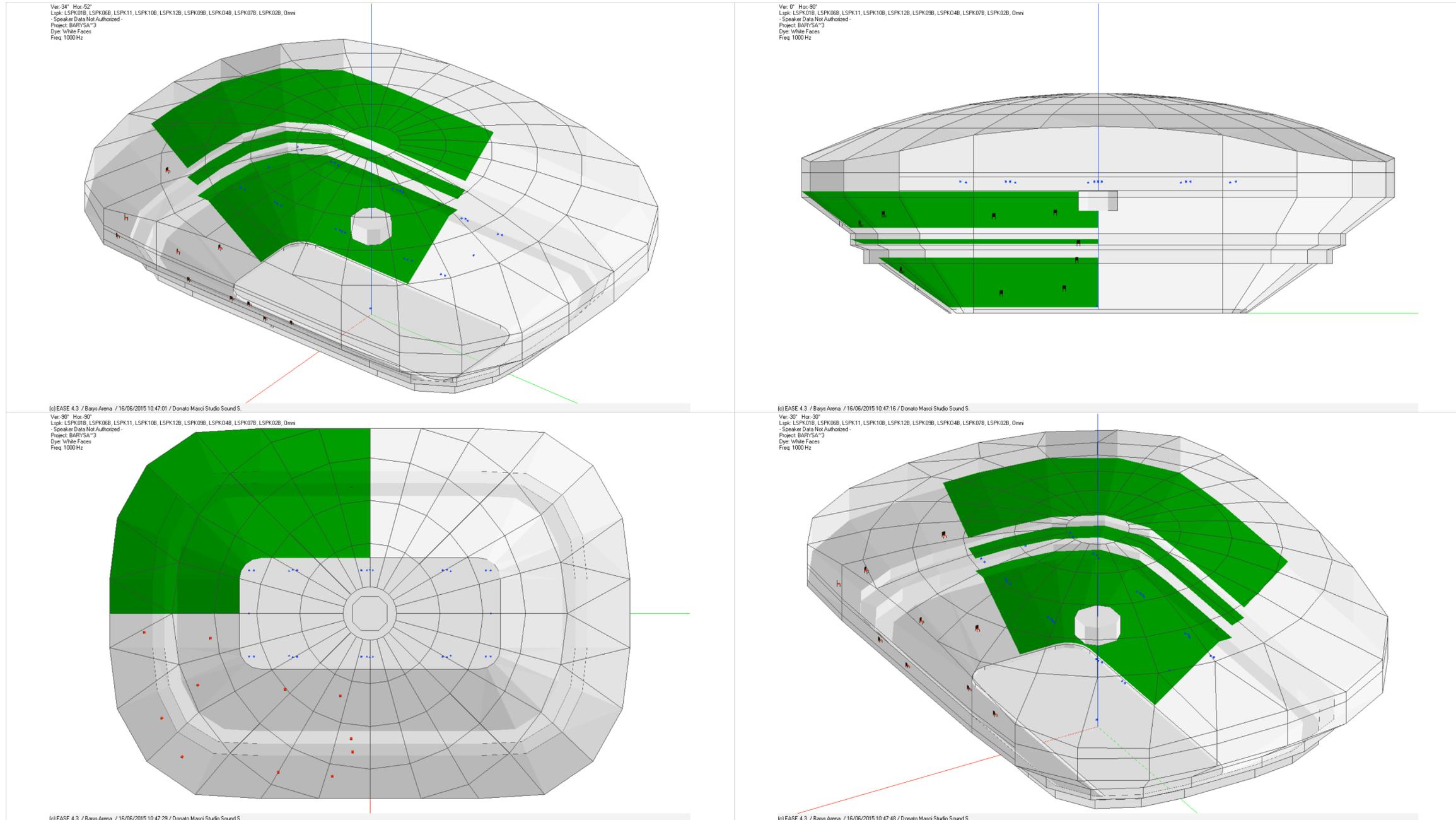
Astana Kazakhstan



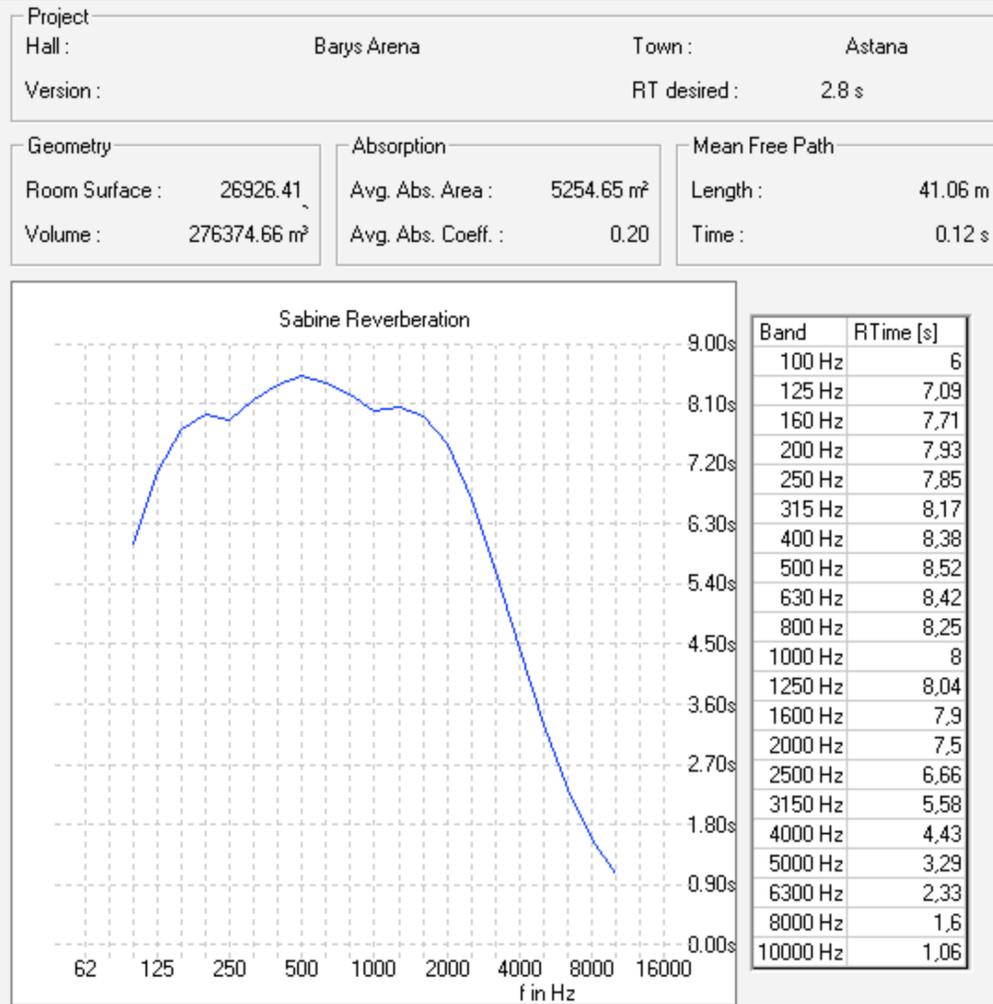
	125	250	500	1000	2000	4000
T30	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz
Sala Piena [s]	5.4	4.3	3.6	3.2	2.9	2.6
Sala Vuota [s]	6.8	5.4	4.5	4.0	3.2	2.9



(c) EASE 4.3 / Barys Arena / 12/06/2015 17:51:41 / Donato Masci Studio Sound S.

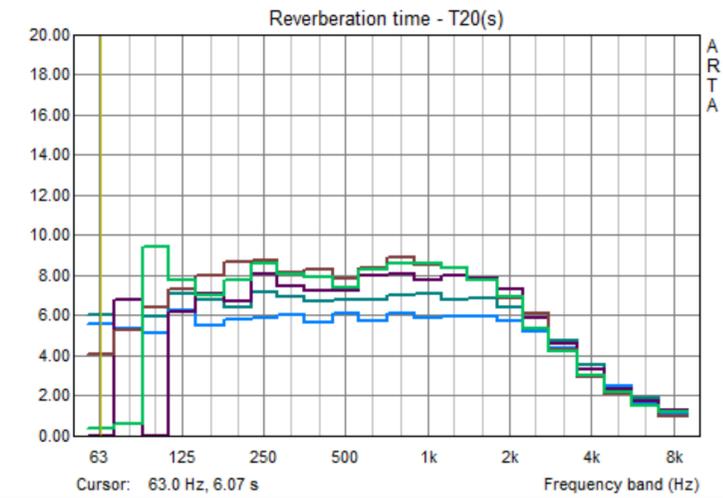


## Taratura del modello su EASE sulla base delle misure effettuate

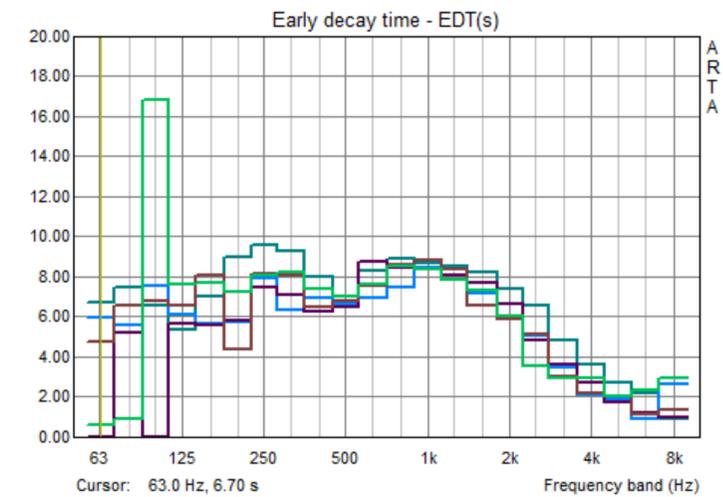


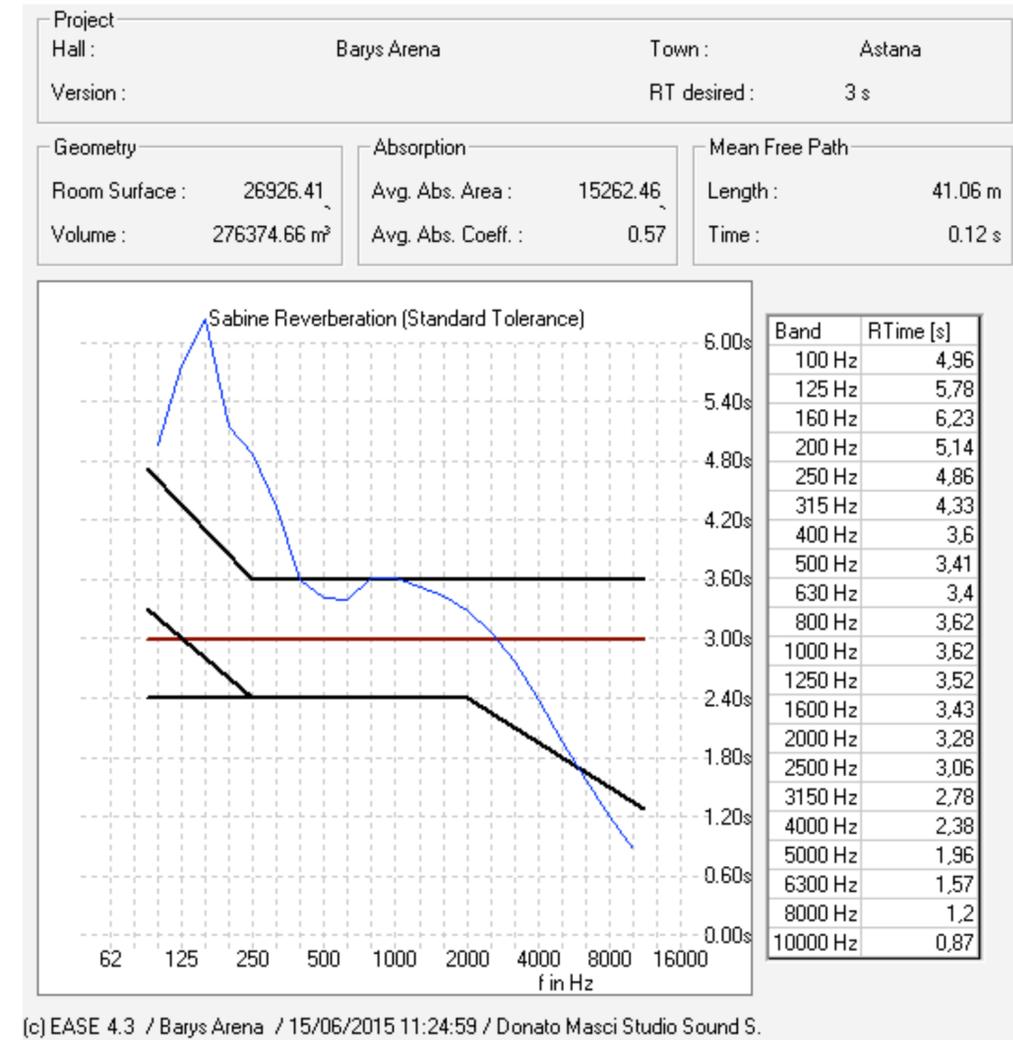
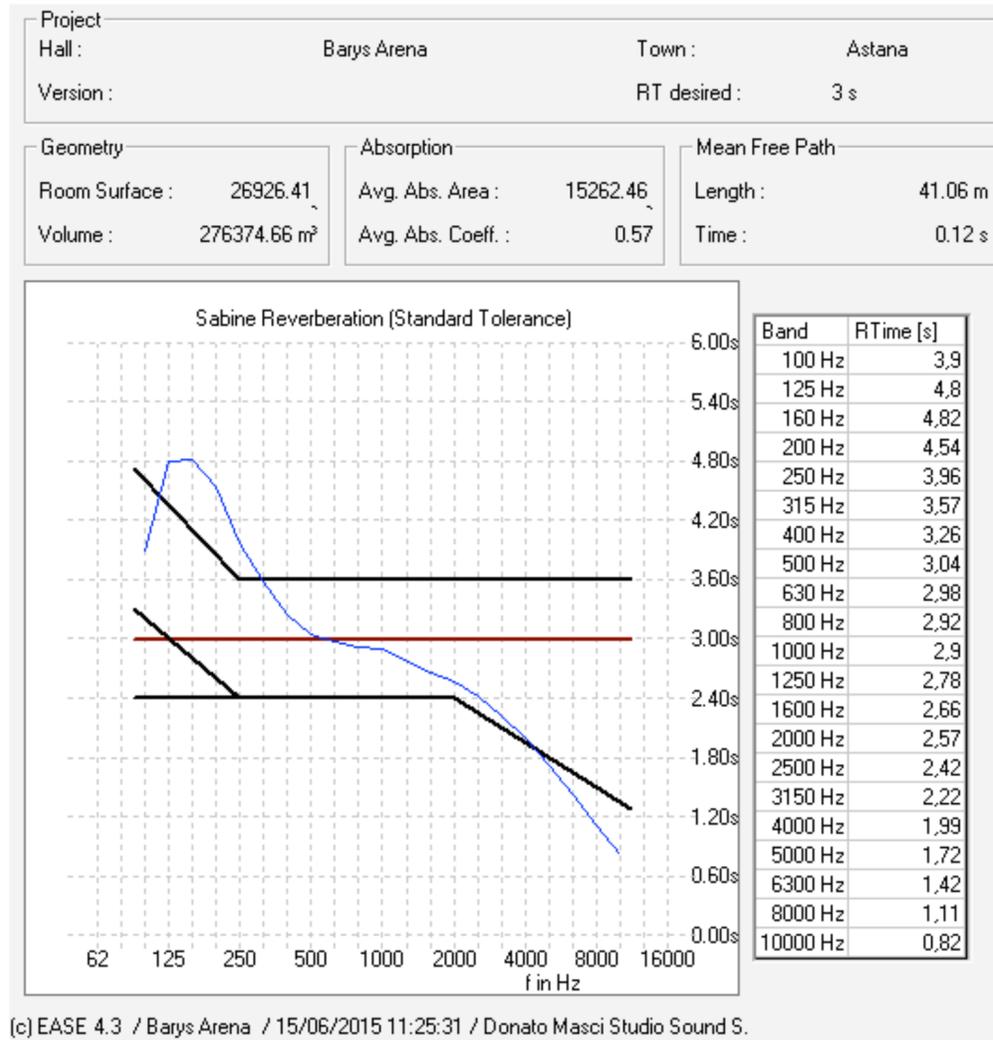
(c) EASE 4.3 / Barys Arena / 12/06/2015 17:53:13 / Donato Masci Studio Sound S.

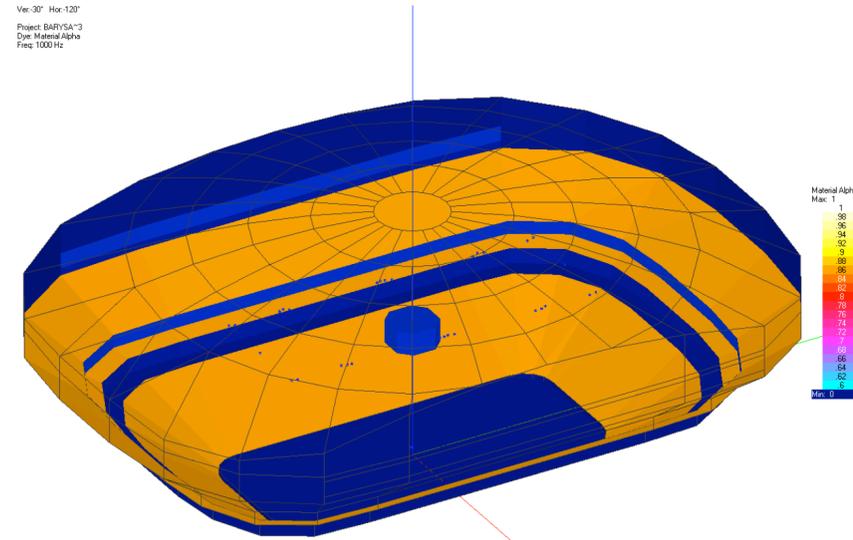
**T20**  
Tempo di  
riverberazione



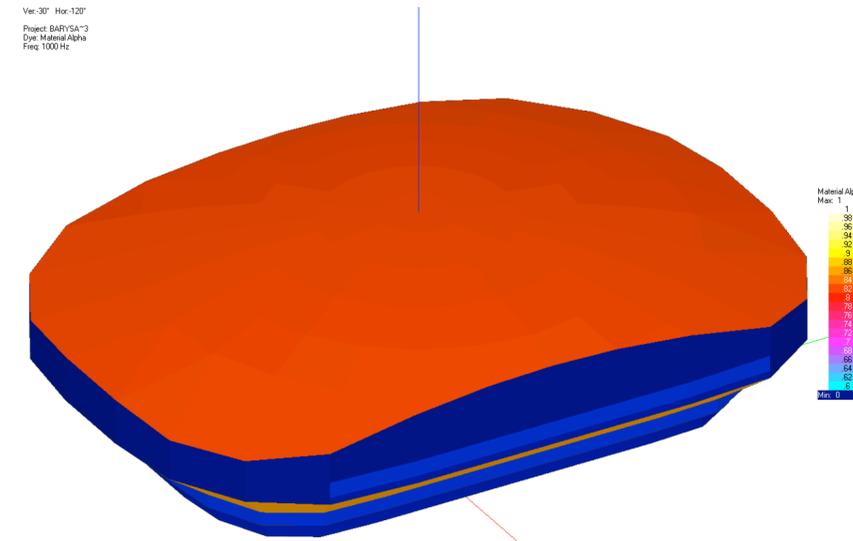
**EDT**  
Tempo di  
riverberazione "veloce"



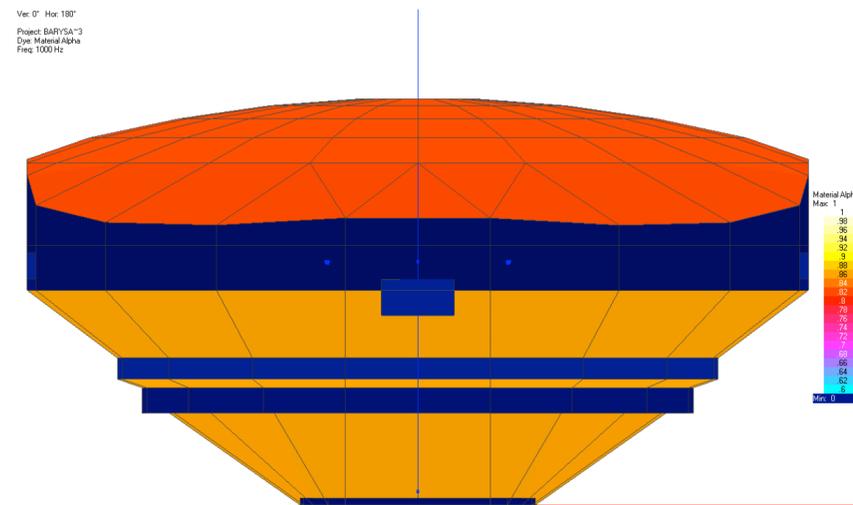




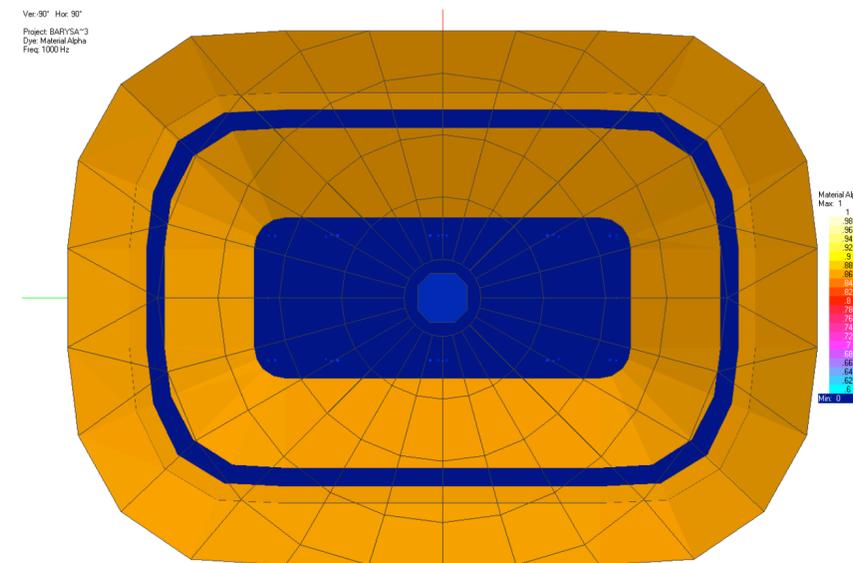
(c) EASE 4.3 / Barys Arena / 14/06/2015 13:15:56 / Donato Masci Studio Sound S.



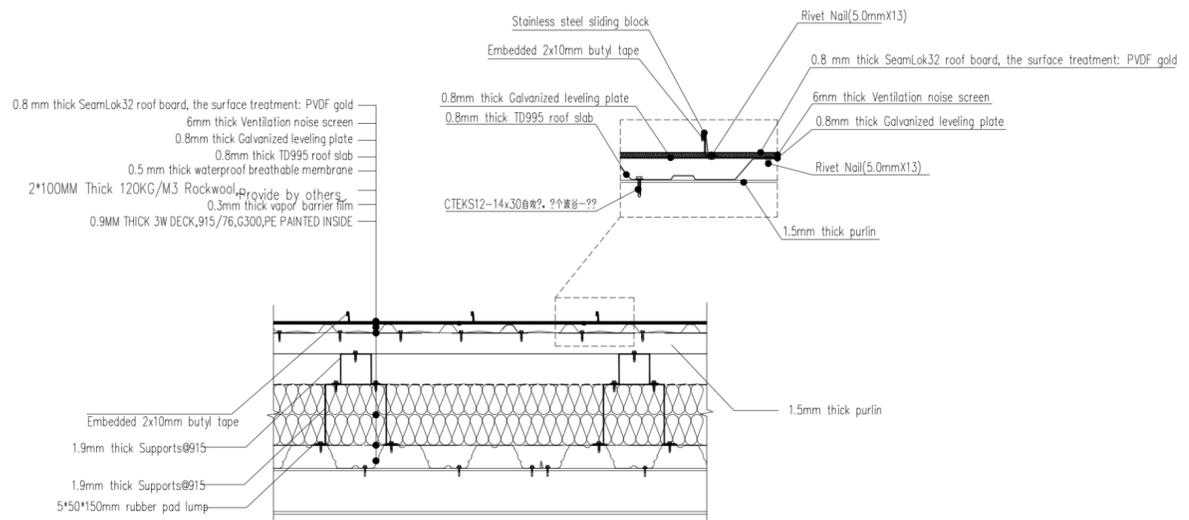
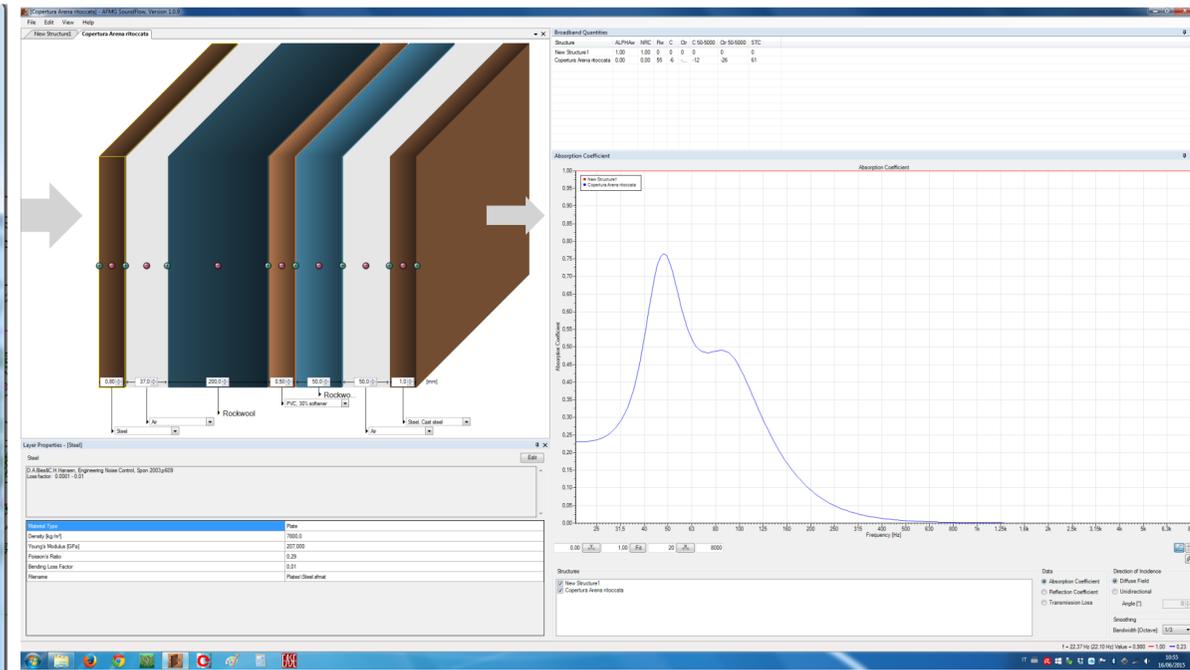
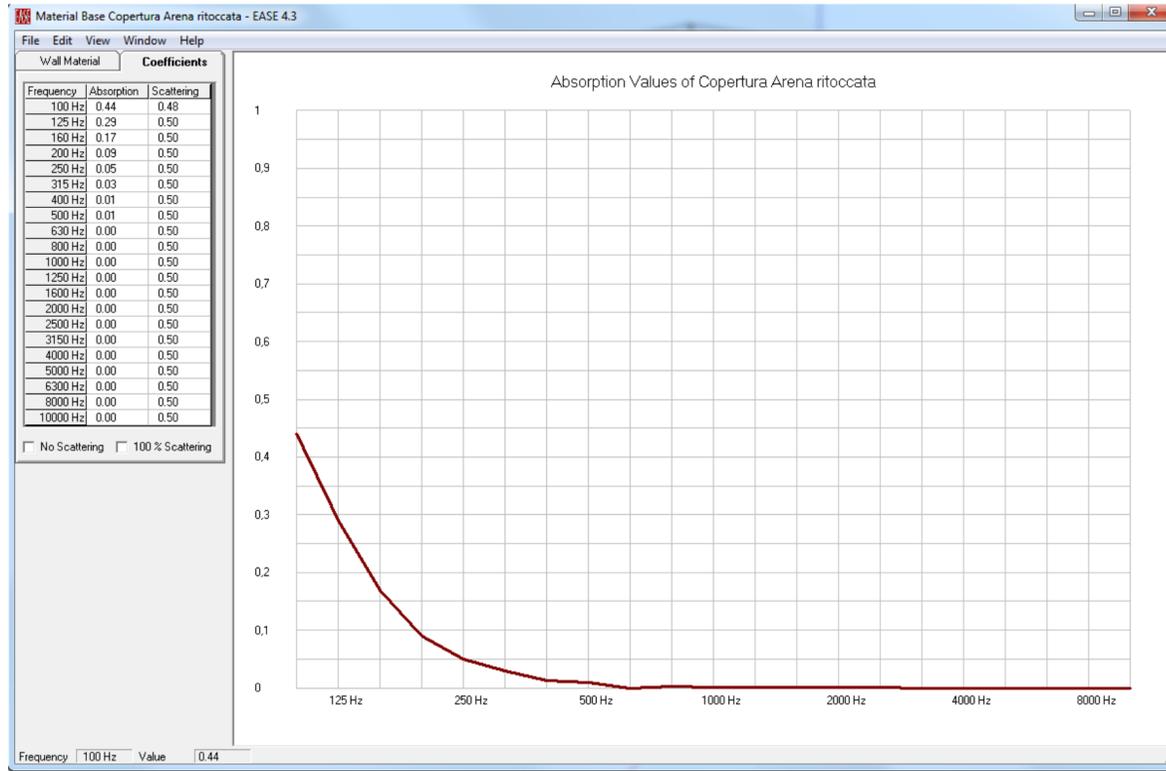
(c) EASE 4.3 / Barys Arena / 14/06/2015 13:16:06 / Donato Masci Studio Sound S.



(c) EASE 4.3 / Barys Arena / 14/06/2015 13:17:16 / Donato Masci Studio Sound S.



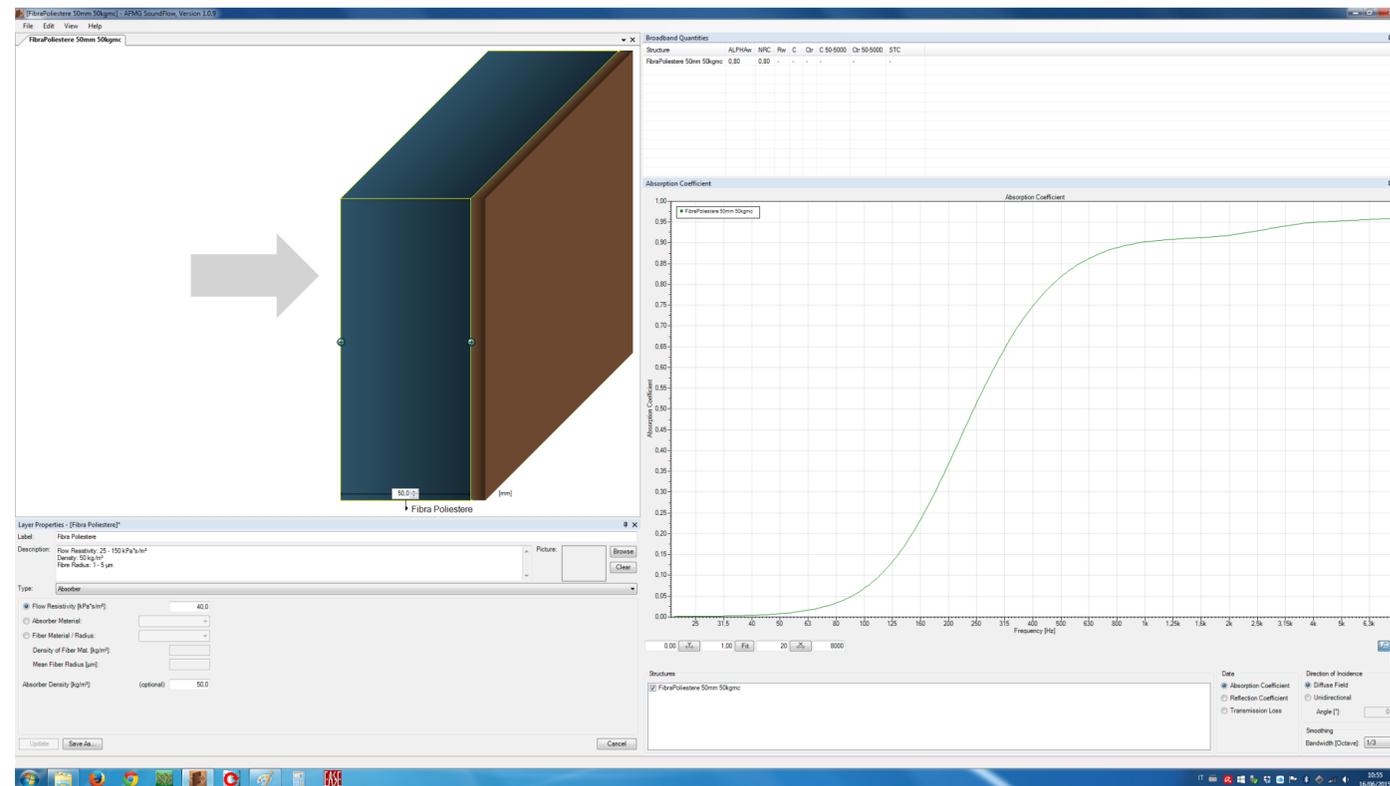
(c) EASE 4.3 / Barys Arena / 14/06/2015 13:18:29 / Donato Masci Studio Sound S.



## Pannelli Baffle a soffitto

- A. Il coefficiente di assorbimento di un “pacchetto baffle” non ha un valore fissato, ma varia a seconda di molti parametri, primo fra tutti la distanza dalla superficie rigida, ma anche la distanza tra i baffle e la loro geometria (oltre che, ovviamente, le proprietà del materiale fonoassorbente).
- B. Il vero improvement, rispetto ai sistemi a cloud orizzontali, è che il materiale poroso, in questa configurazione, pur perdendo una piccola quantità di assorbimento ad alta frequenza (dove però il materiale poroso è già di per sé estremamente performante), acquista performance sulle basse frequenze.
- C. Per valutare le prestazioni del sistema, è stato verificato sperimentalmente che la semplice somma dell'area di assorbimento equivalente di un singolo baffle sovrastima l'assorbimento del sistema e, quindi, non è corretta.
- D. Per calcolare il coefficiente di assorbimento di una superficie equivalente di soffitto trattata con baffle verticali, si può ricorrere ad un metodo teorico (Wolfgang Probst, ACCON GmbH) che si basa su una costruzione di tipo geometrico, valida in situazioni in cui l'altezza dei baffle è dello stesso ordine di grandezza della loro spaziatura; questi sono gli step:

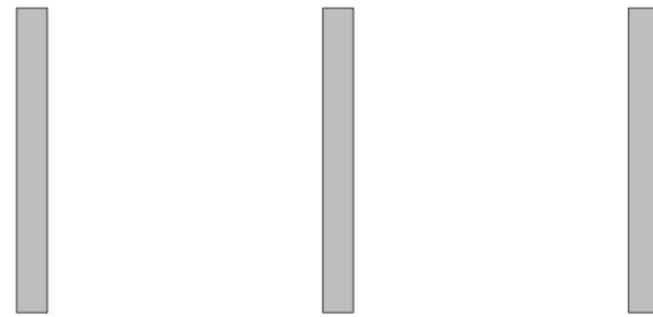
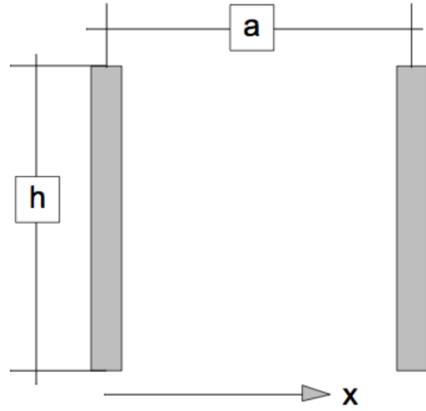
## Pannelli Baffle a soffitto



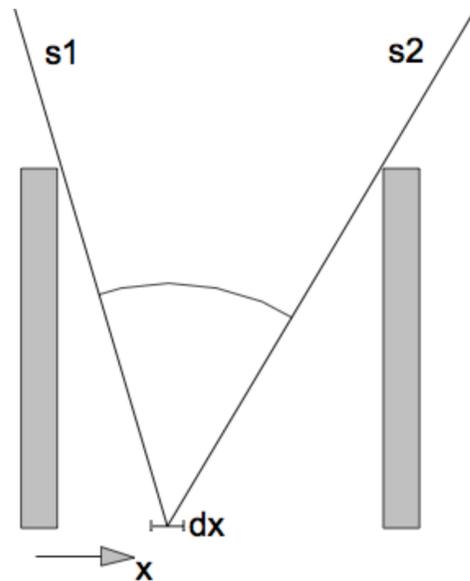
1. in primo luogo, si considera il coefficiente di assorbimento  $\alpha_B$  del pannello misurato in laboratorio secondo la normativa DIN EN ISO 354, ossia in camera riverberante, posizionato contro una superficie rigida; se non si dispone di questo dato, si può utilizzare un software (come SoundFlow dell'AFMG) per simulare il coefficiente di assorbimento del pannello: per la Barys Arena abbiamo tentato di costruire dei valori più realistici possibile comparando i valori di assorbimento riportati nella scheda tecnica del fornitore dei pannelli (che però si riferiscono a pannelli di spessori e densità leggermente diversi) con i valori simulati con SoundFlow; si riporta qui di seguito la schermata relativa allo studio che è stato eseguito con SoundFlow, mentre i valori di assorbimento forniti dal produttore si possono trovare sulle schede tecniche del materiale;

## Pannelli Baffle a soffitto

2. si considera il valore  $a'$  come rapporto di  $a$  (distanza tra i baffle) e  $h$  (altezza dei baffle) e si calcola la porzione di suono che passa tra i *baffle*: in questo caso è stato scelto  $h = 1,2$  m e  $a = 1,5$  m, quindi  $a' = 1.25$ ;



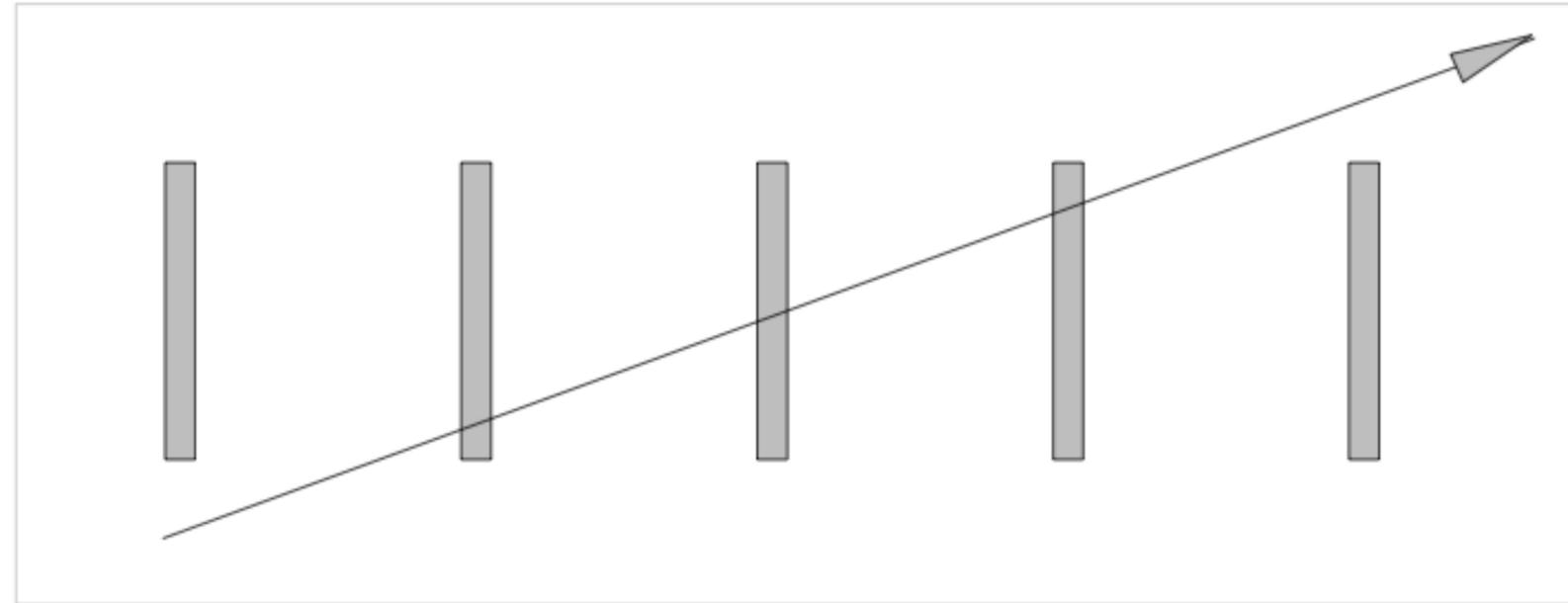
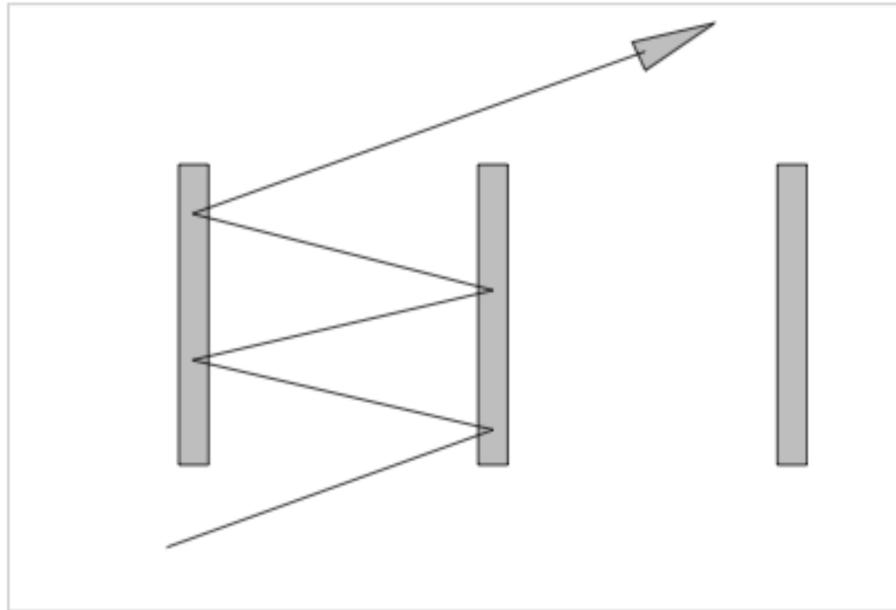
definizione di  $a' = a/h$



porzione di suono che passa senza interagire coi baffles

## Pannelli Baffle a soffitto

3. si considera poi la quantità di suono che viene dissipata in  $n$  passaggi attraverso i baffle (che riflettono o trasmettono il suono);

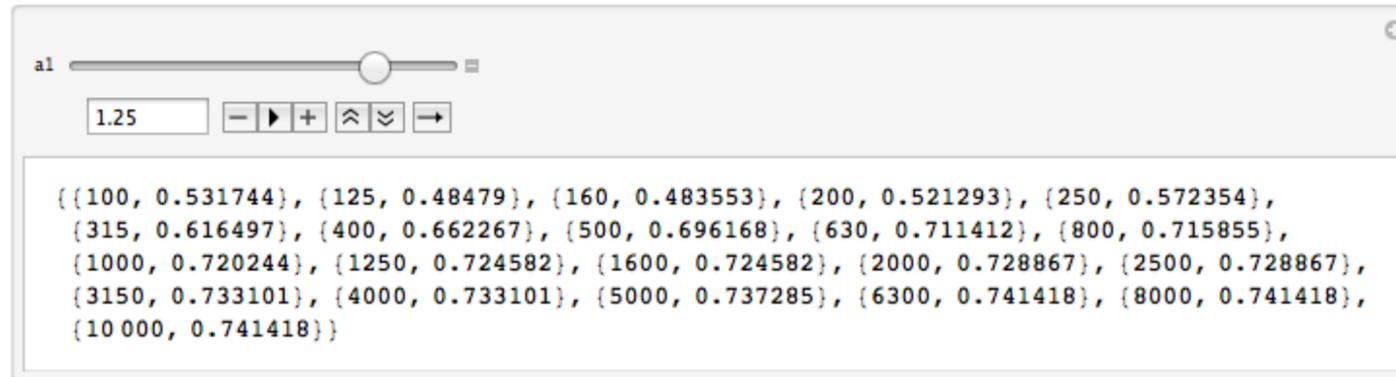


Baffle che riflettono (sinistra) o trasmettono (destra) l'energia sonora non assorbita

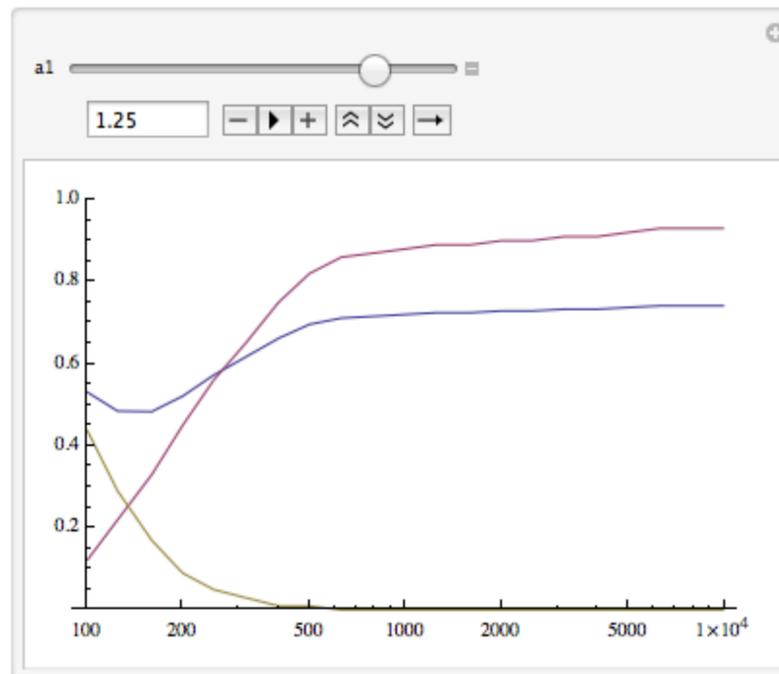
## Pannelli Baffle a soffitto

4. si deve considerare l'assorbimento del soffitto  $\alpha_H$ , sul quale si andrà a porre il sistema baffle: spesso le coperture non hanno un livello di isolamento molto elevato a bassa frequenza e, quindi, il loro coefficiente di assorbimento spesso è non nullo; In questo caso è stato considerato quello che abbiamo riportato alla sezione precedente;
5. si determina il coefficiente di assorbimento relativo all'unità di superficie del sistema baffle mediante una relazione costituita da una serie numerica con parametri:
  - a' rapporto di a (distanza tra i baffle) e h (altezza dei baffle);
  - $\alpha_B$  assorbimento del singolo pannello montato a ridosso di una superficie rigida;
  - $\alpha_H$  assorbimento del soffitto esistente.

```
Manipulate[Table[{f[s]],  $\alpha_{Tot}[a1, s, 1000]$ }, {s, 1, 21}], {a1, 0.1, 1.5}, SaveDefinitions -> True]
```



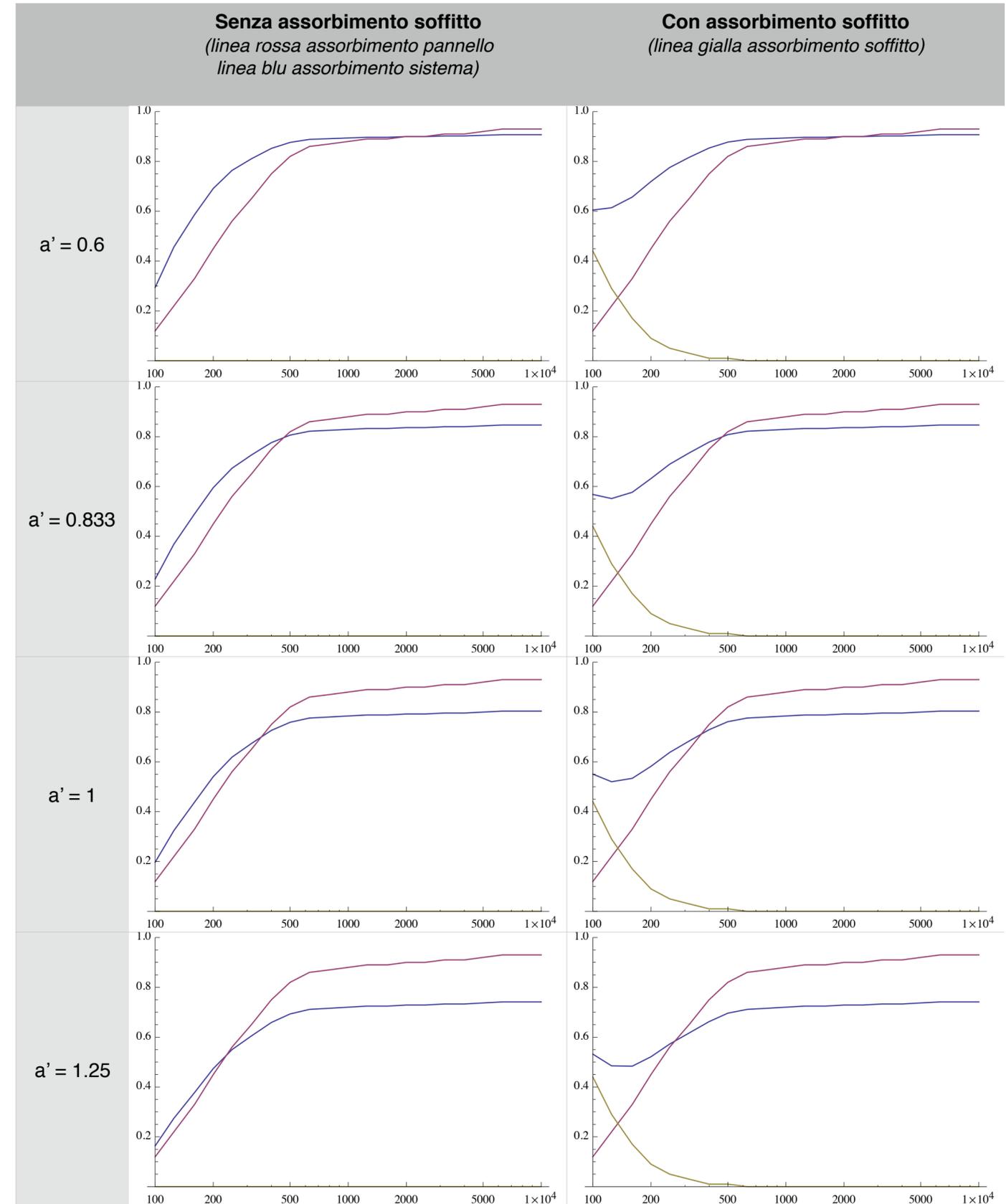
```
Manipulate[
ListLogLinearPlot[{Table[{f[s]],  $\alpha_{Tot}[a1, s, 1000]$ }, {s, 1, 21}],
Table[{f[s2]],  $\alpha_B[s2]$ }, {s2, 1, 21}], Table[{f[s3]],  $\alpha_H[s3]$ }, {s3, 1, 21}],
PlotRange -> {0, 1}, Joined -> True], {a1, 0.1, 1.5}, SaveDefinitions -> True]
```



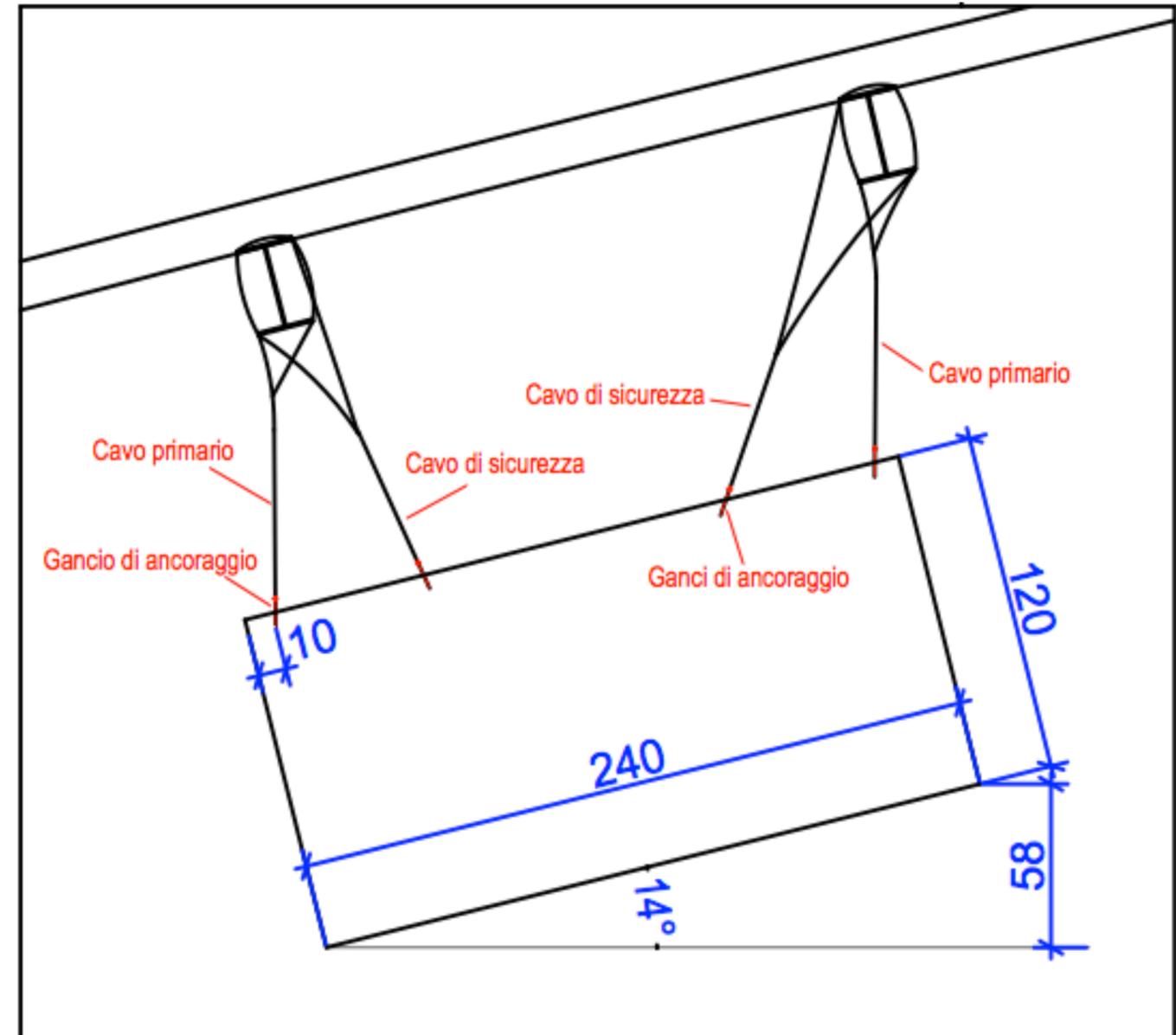
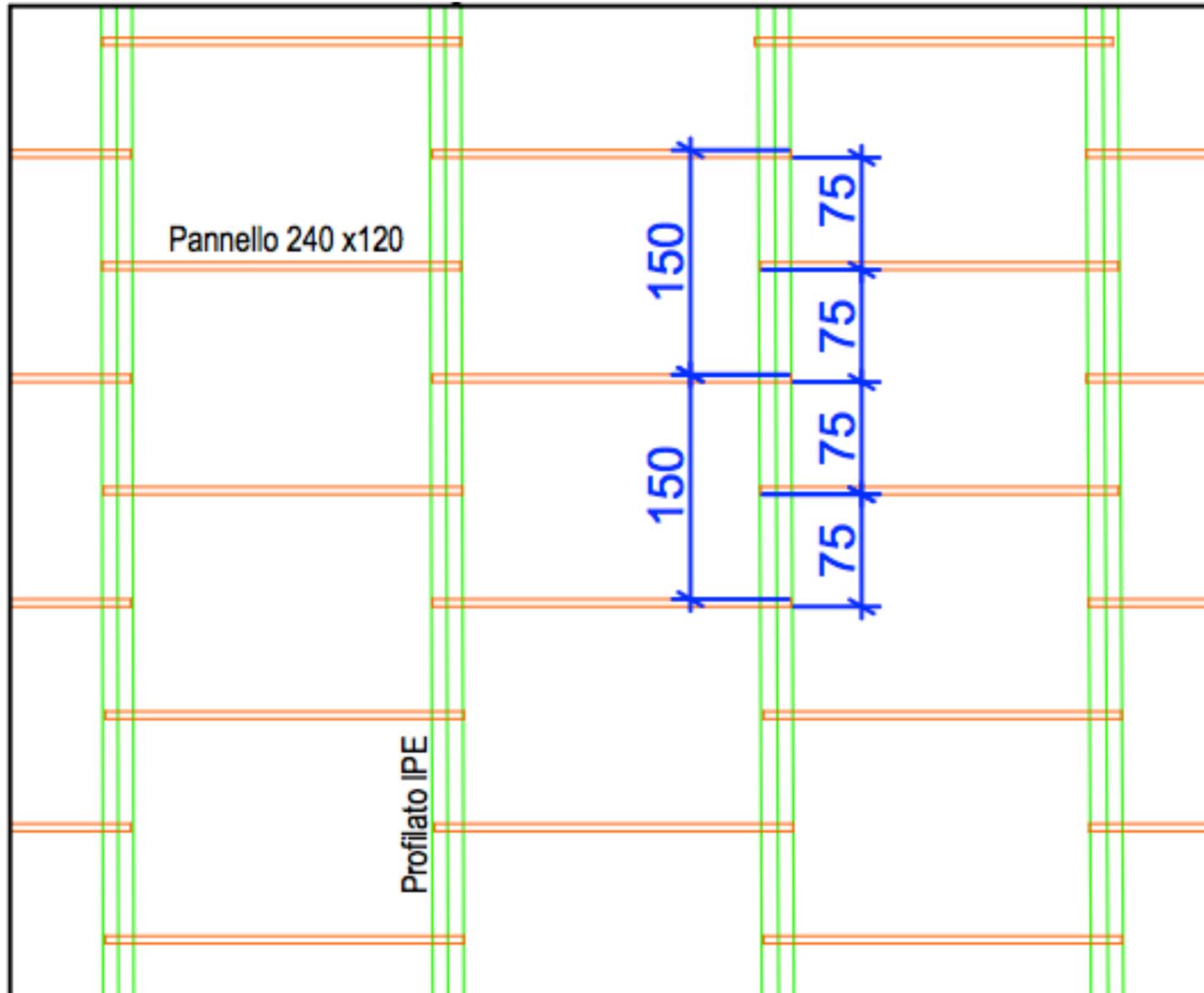
Questa relazione è stata programmata e calcolata con il software Mathematica per la combinazione dei parametri di nostro interesse:

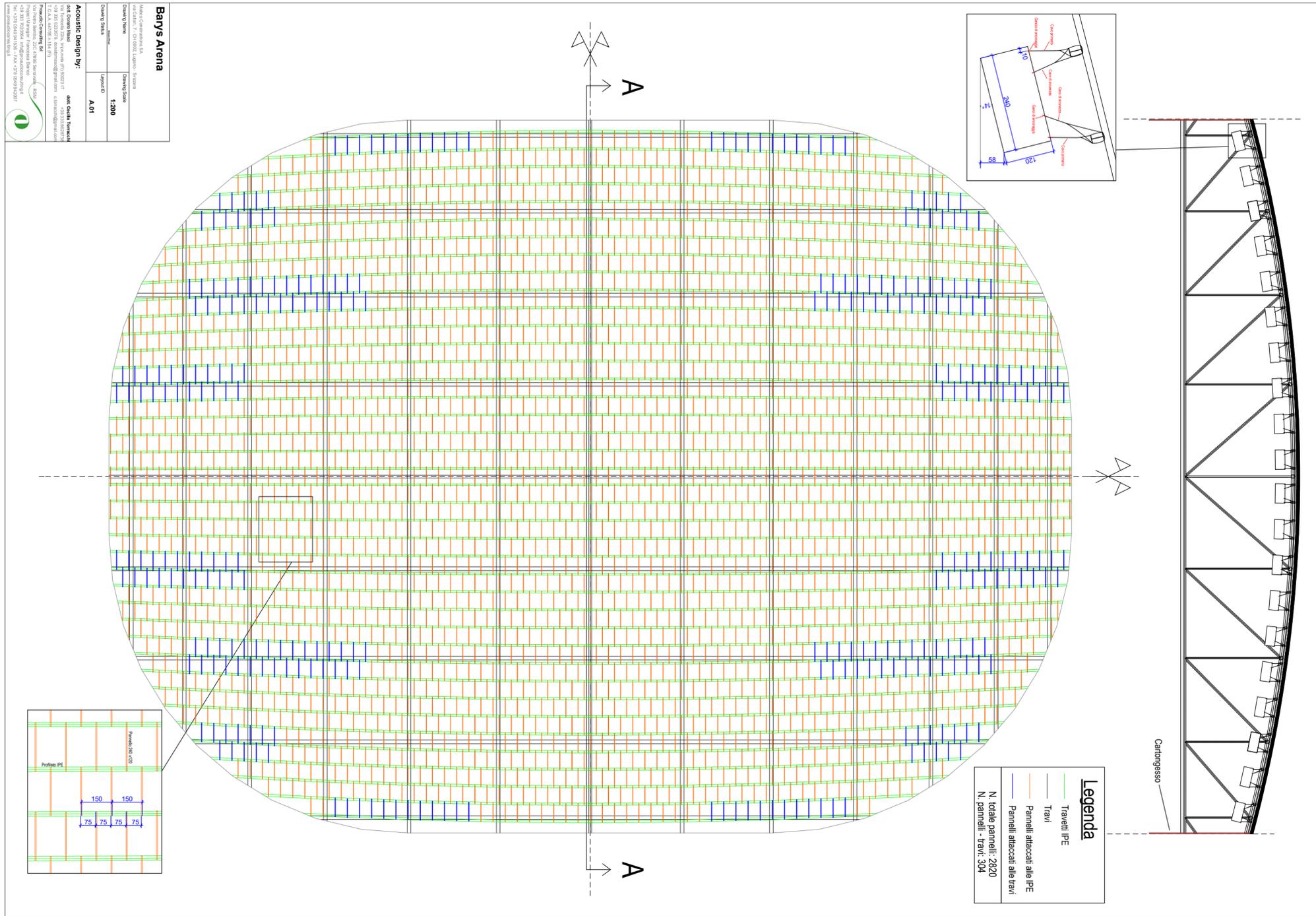
## Esempi di assorbimento per diversi valori di $a'$

- Il valore utilizzato per il trattamento acustico della Barys Arena è relativo all'ultima riga, ossia  $a' = 1.25$
- per valori di  $a' < 0.6$  il baffle si comporta alle alte frequenze praticamente come il pannello semplice orizzontale (ma per valori più piccoli di questo il modello di calcolo non è efficace);
- spesso si preferisce avere un lieve peggioramento della parte delle alte frequenze (dato che l'inserimento di una grande quantità di materiale poroso rende il campo acustico "anecoico" in questo range, restituendo una sensazione di "fastidio percettivo") in favore del miglioramento a bassa frequenza, che sembrerebbe a prima vista minimo, ma praticamente per  $a' = 0.833$  già raddoppia i coefficienti @100 Hz;
- bisogna tenere di conto dell'assorbimento delle partizioni leggere come le coperture dei grandi palazzetti, che spesso sono determinanti alle basse frequenze



## Disposizione dei baffle





## Montaggio dei baffles



*cavo con occhiello, per formare il cappio e chiudere "a cravatta" attorno alle IPE*



*"molletta" di Manifattura Maiano per attaccarsi al pannello*



*inserimento del cavo nel morsetto per fissaggio alla "molletta"*



*Il morsetto può aiutare a fare un "fine-tuning" dell'altezza, se fosse necessario*

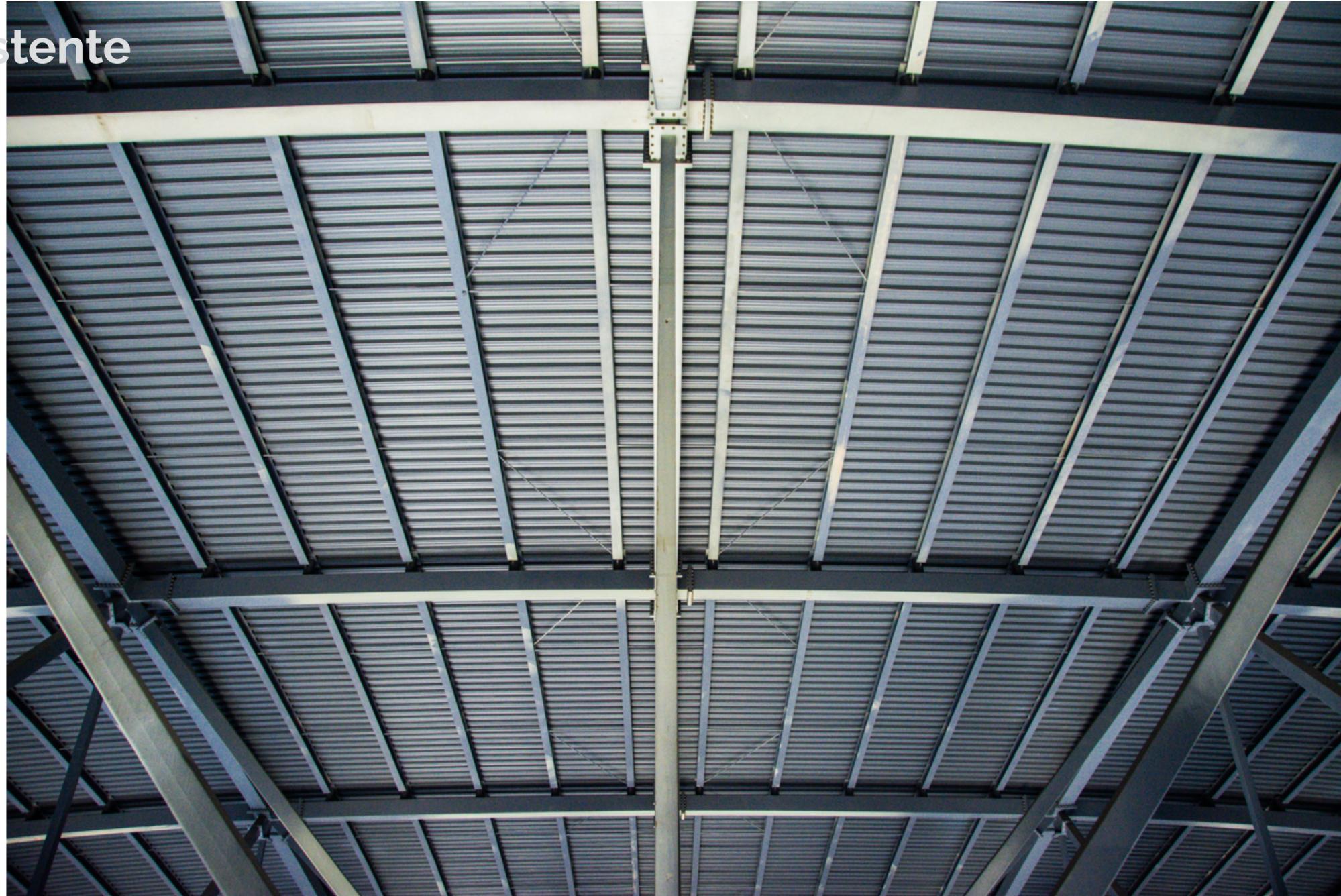


*aggancio della molletta al pannello: gli uncini si inseriscono nella fibra*

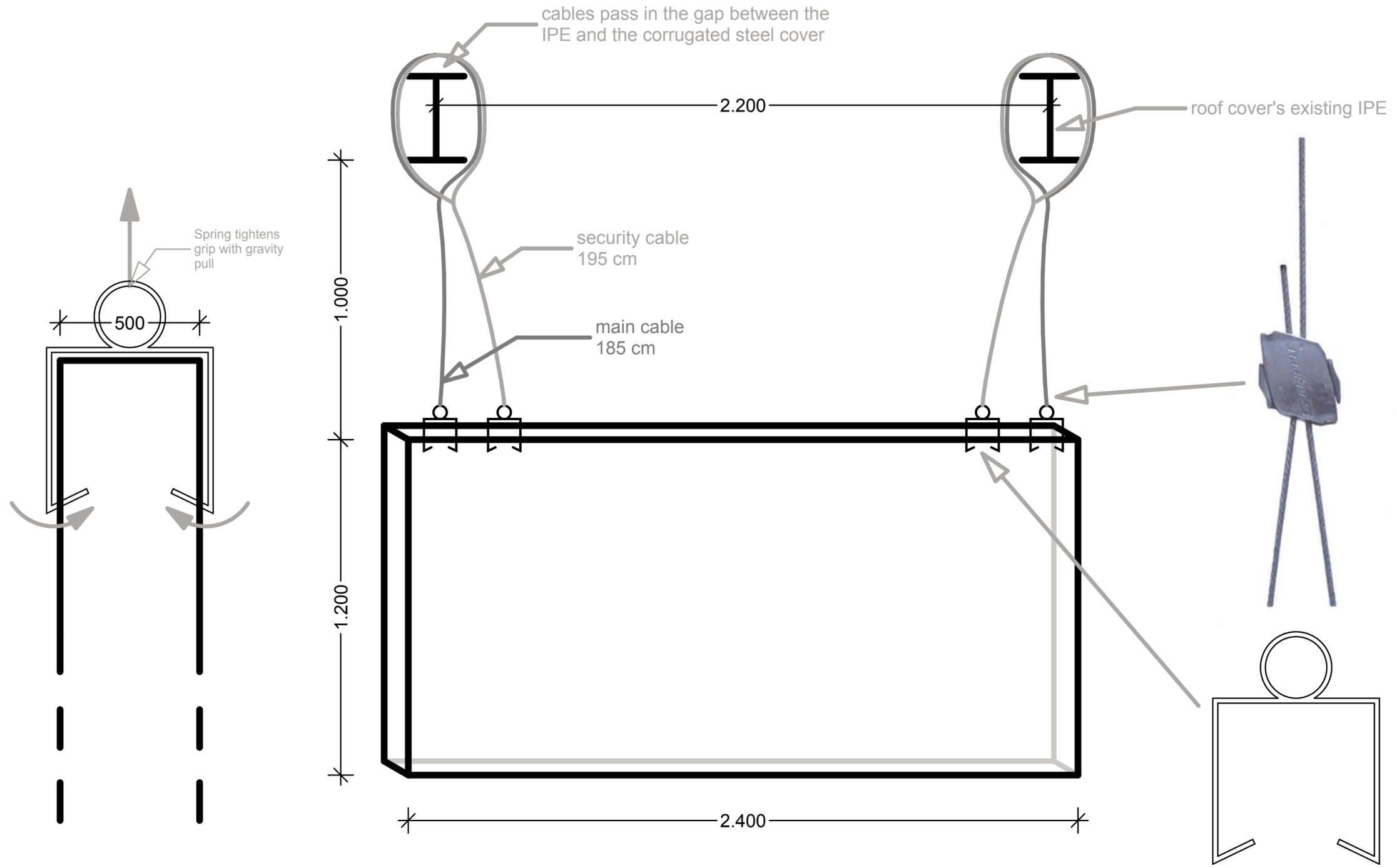


*aggancio della cavo con il blocco del morsetto alla molletta e sospensione del pannello*

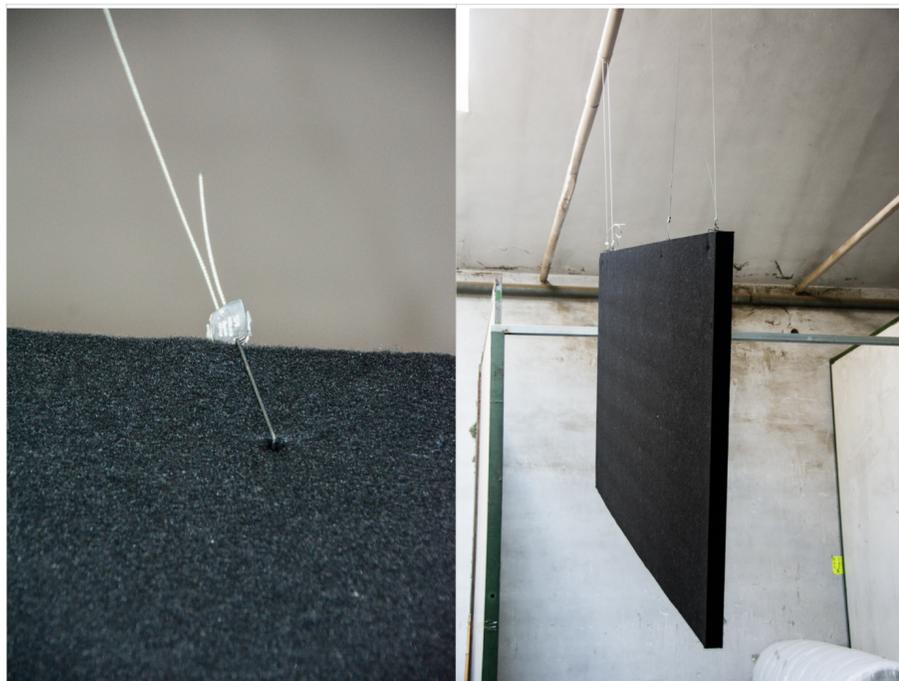
## Soffitto Esistente



# M1290 Hockey Stadium



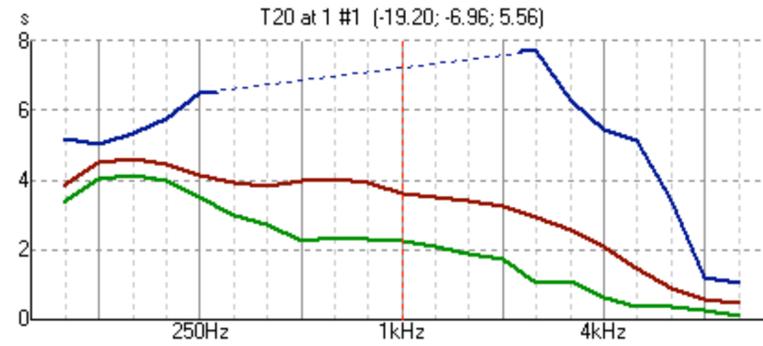
## Sistema di sospensione, test



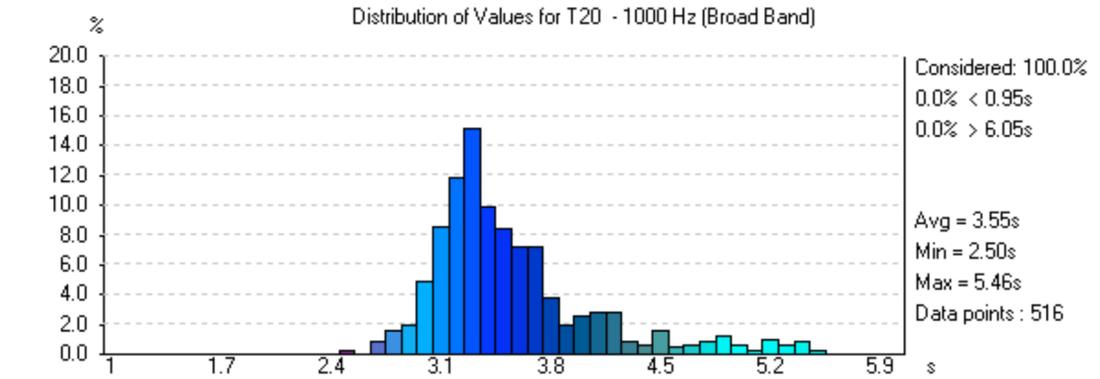
**T20**  
Tempo di  
riverberazione

**valori (max medio min)**

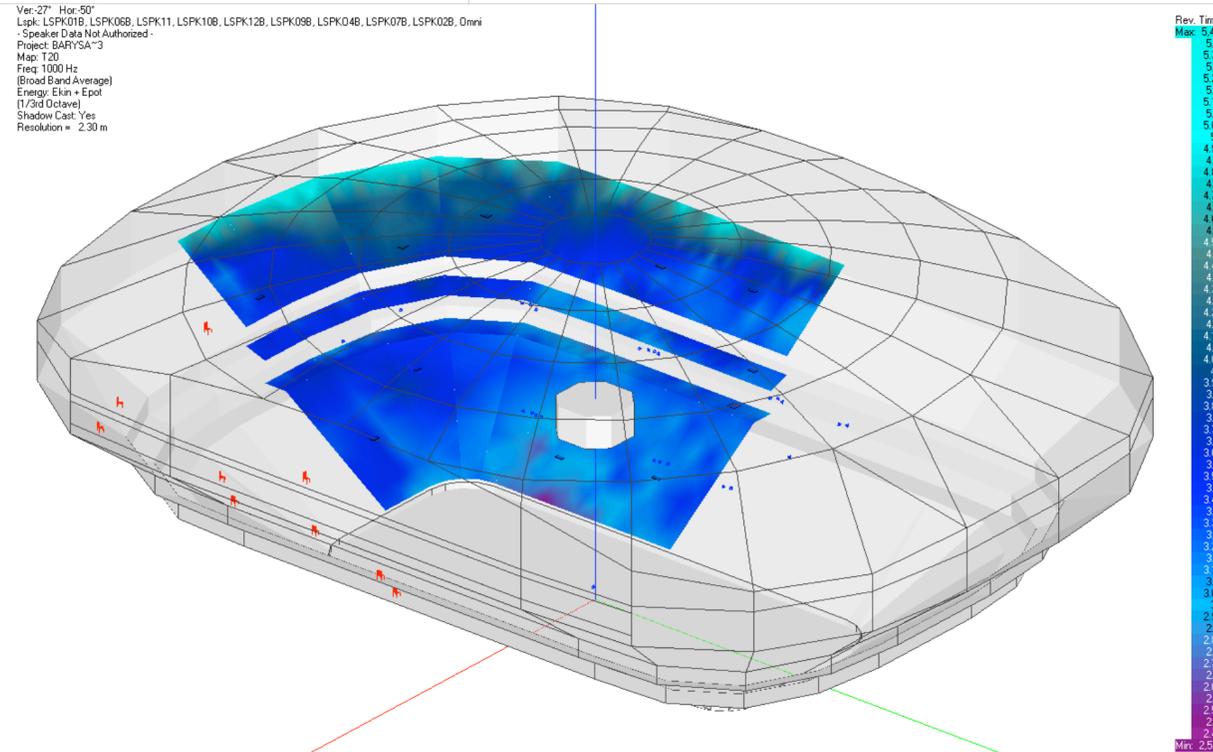
**distribuzione (statistica %)**



(c) EASE 4.3 / Barys Arena / 16/06/2015 10:19:44 / Donato Masci Studio Sound S.



(c) EASE 4.3 / Barys Arena / 16/06/2015 10:42:36 / Donato Masci Studio Sound S.

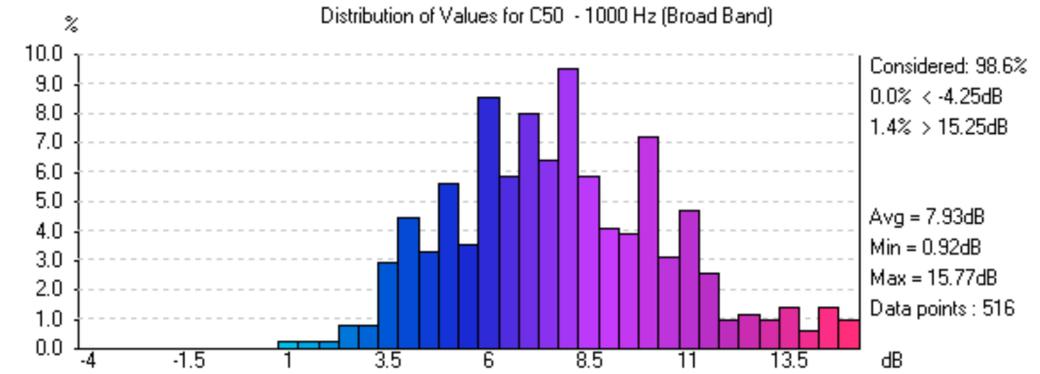
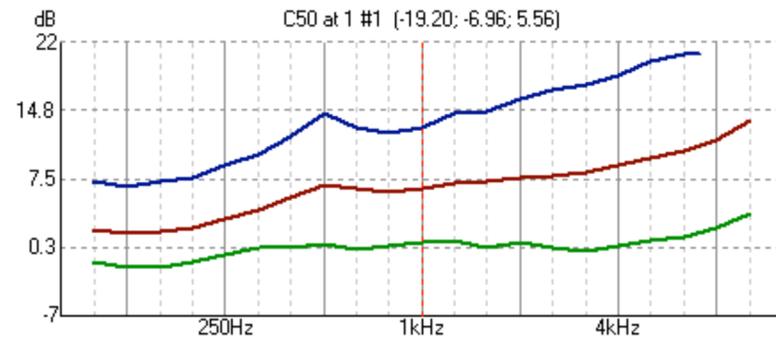


(c) EASE 4.3 / Barys Arena / 16/06/2015 10:42:46 / Donato Masci Studio Sound S.

**C50**  
parametro di  
Chiarezza

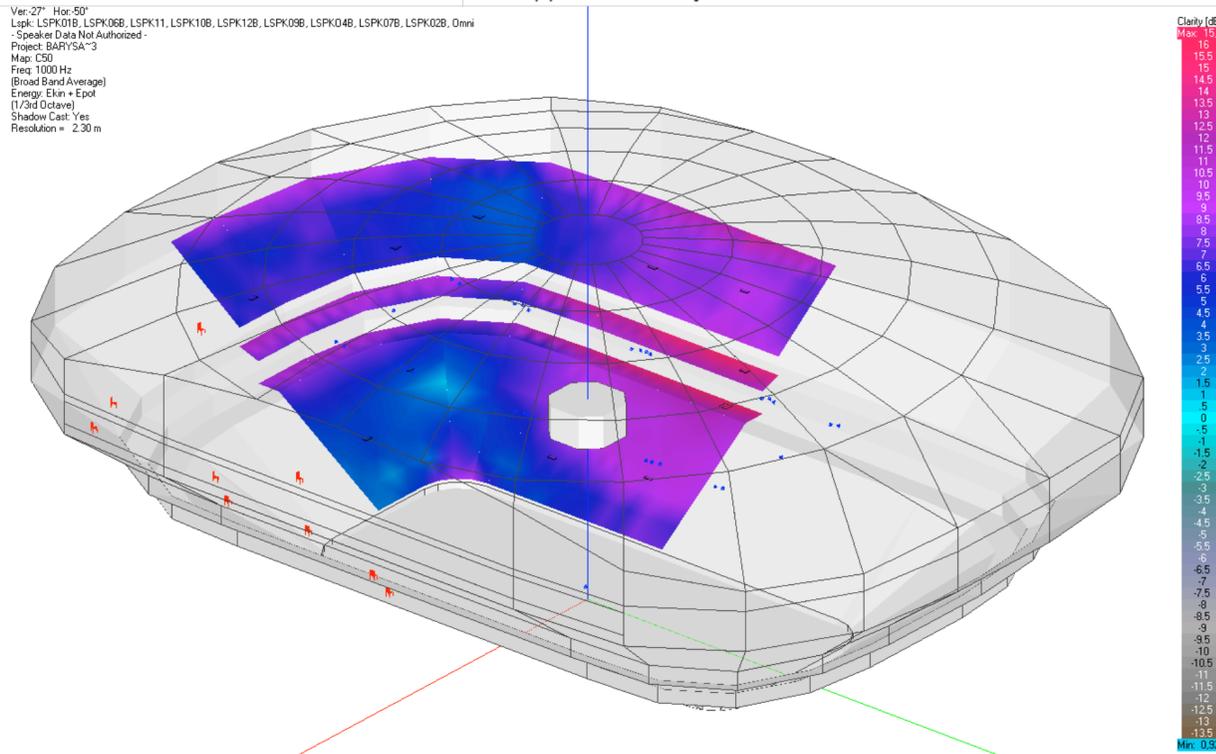
**valori (max medio min)**

**distribuzione (statistica %)**



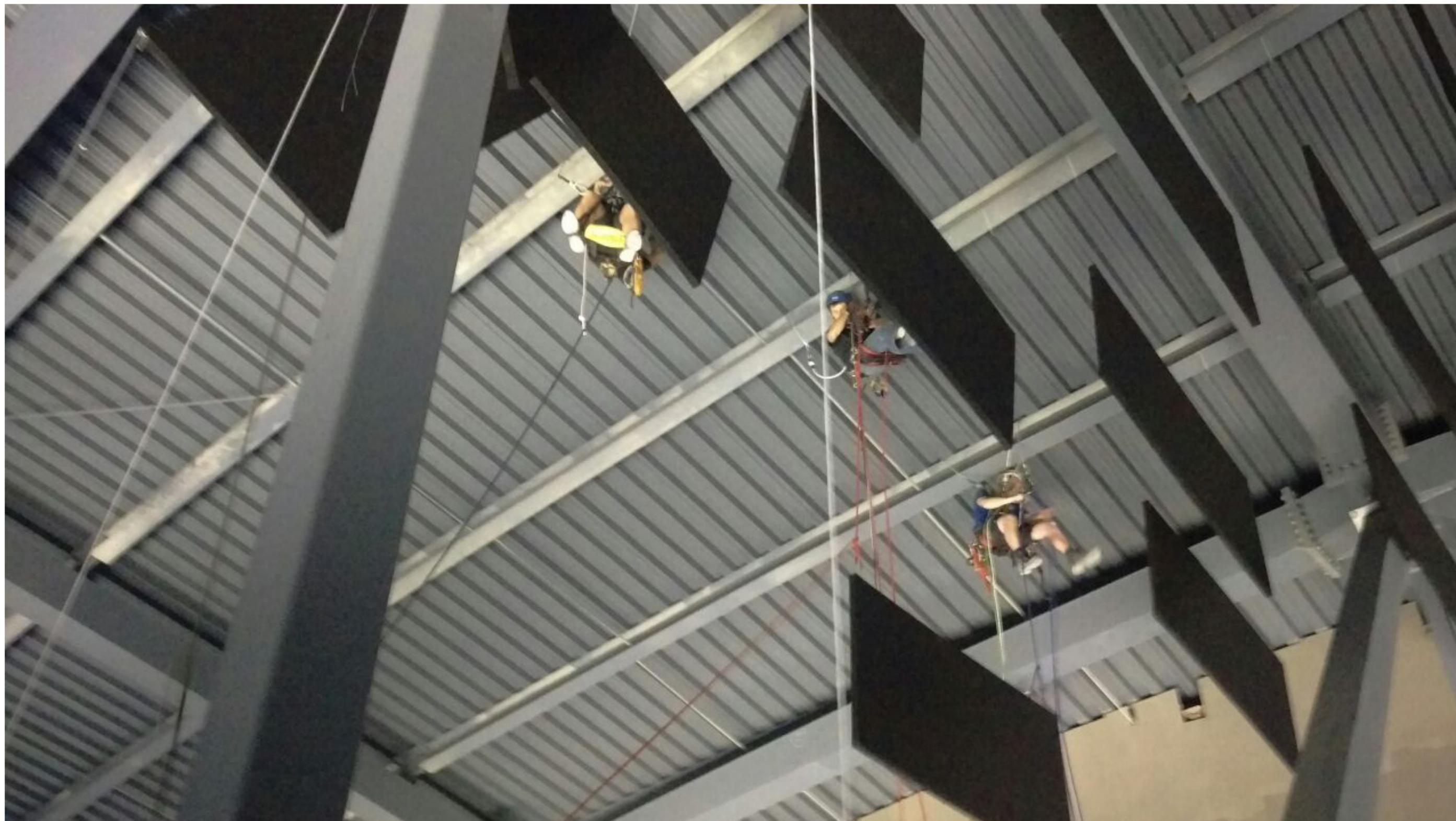
(c) EASE 4.3 / Barys Arena / 16/06/2015 10:27:40 / Donato Masci Studio Sound S.

(c) EASE 4.3 / Barys Arena / 16/06/2015 10:29:09 / Donato Masci Studio Sound S.



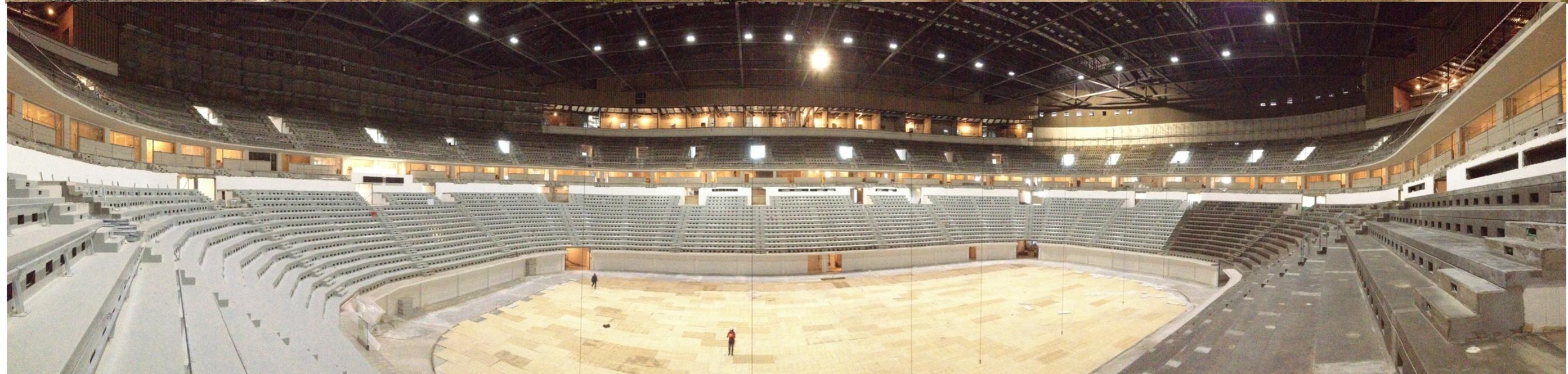
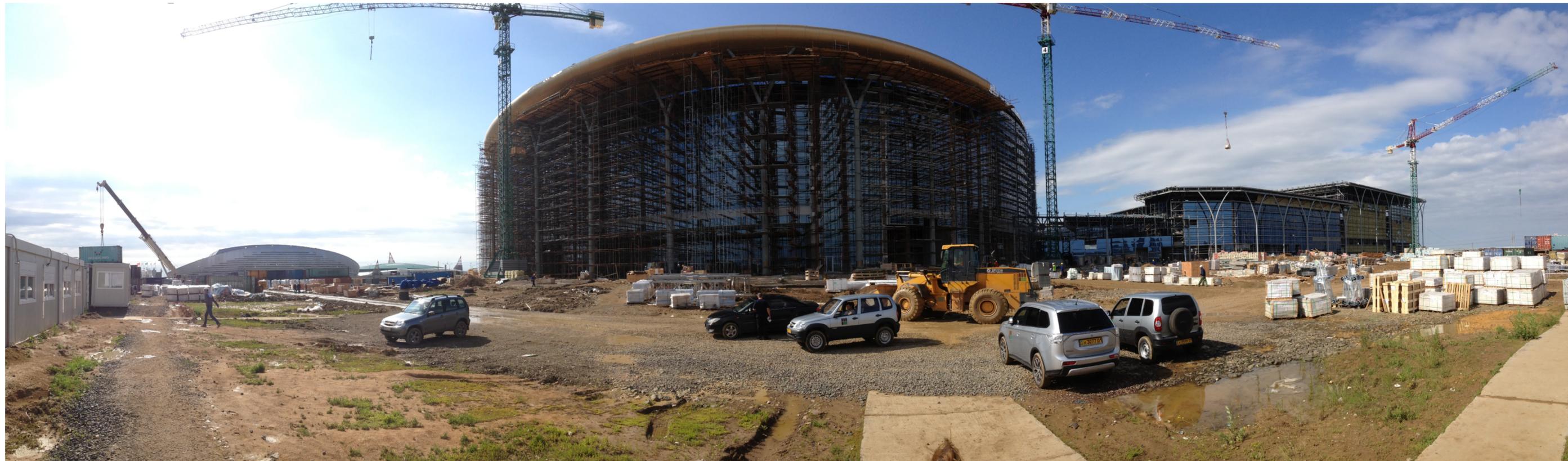
(c) EASE 4.3 / Barys Arena / 16/06/2015 10:29:28 / Donato Masci Studio Sound S.











	125	250	500	1000	2000	4000
RT	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz
Valore atteso (impianto) [s]	5.4	4.3	3.6	3.2	2.9	2.6
Valore atteso (sorgente omni) [s]	6.0	4.6	3.7	3.7	3.2	2.9
Misure impianto T30 (Media) [s]	4.9	4.5	3.5	3.1	2.6	2.0
Misure impianto EDT (Media) [s]	4.4	4.1	3.8	3.7	3.1	2.7
Misure Palloncino T10-30 (Media) [s]	4.8	4.9	3.8	3.7	3.2	2.5



	125	250	500	1000	2000	4000
C50	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz
Misure impianto C50 (Media) [s]	-4.8	-0.4	-0.3	0.6	1.0	5.0
Misure Palloncino C50 (Media) [s]	-7.2	-0.4	0.0	0.9	1.4	4.2

# Auditorium della Fraternità di Romena

Pratovecchio (AR)





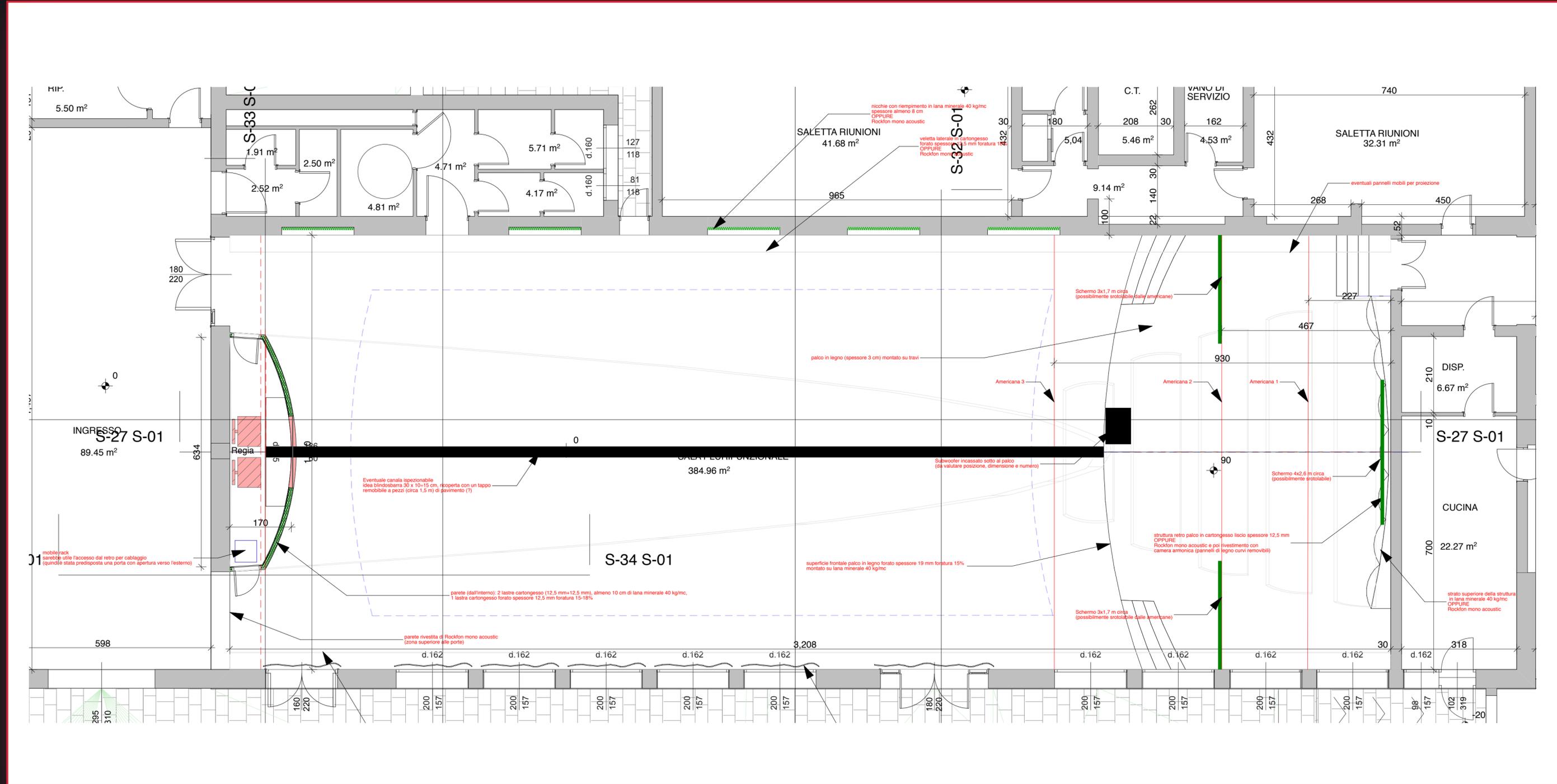
L'auditorium è nato in una ex stalla, poi adibita a refettorio per la fraternità di Romena

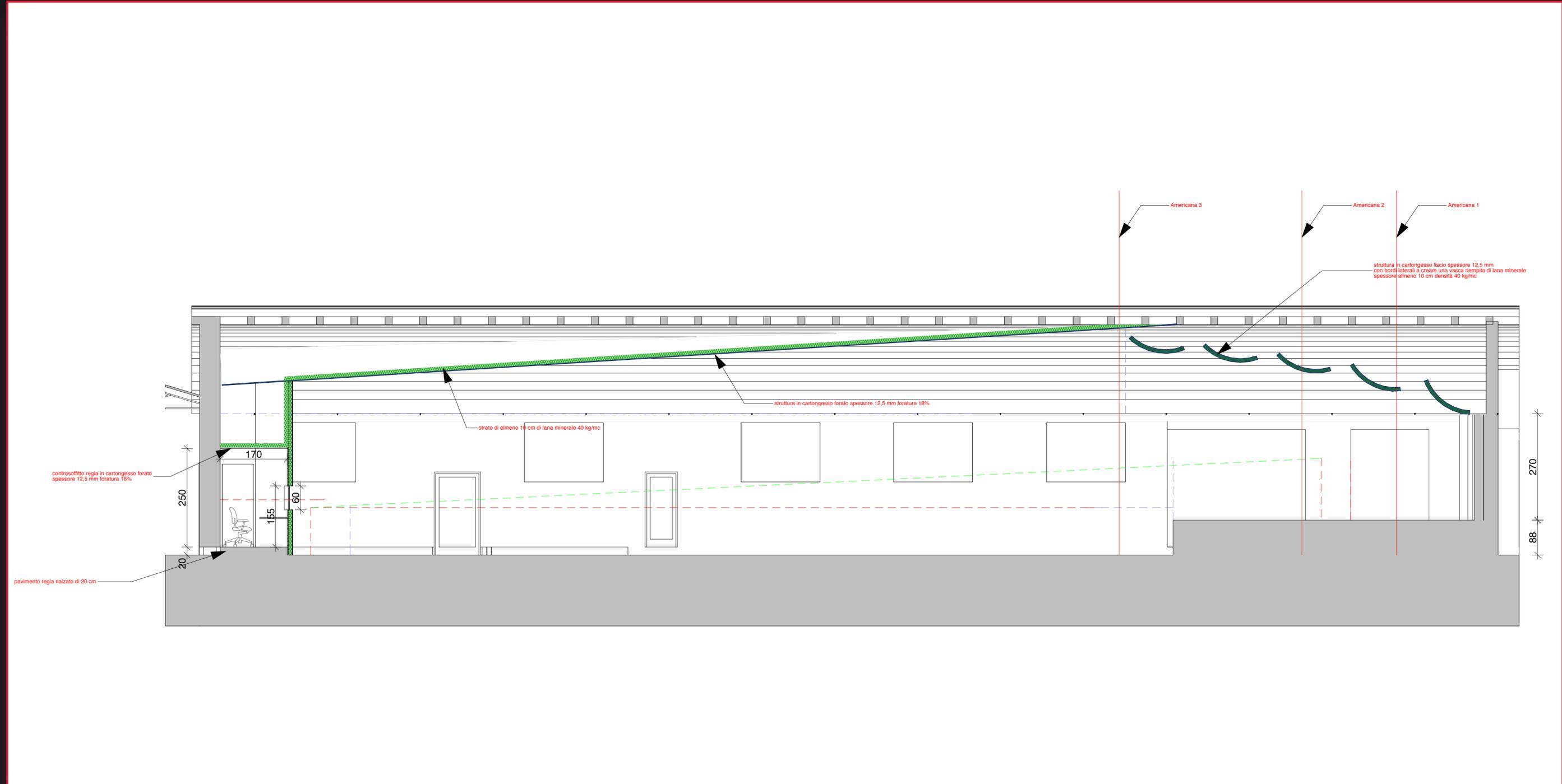


soffitto a volta in laterizio e pareti in pietra

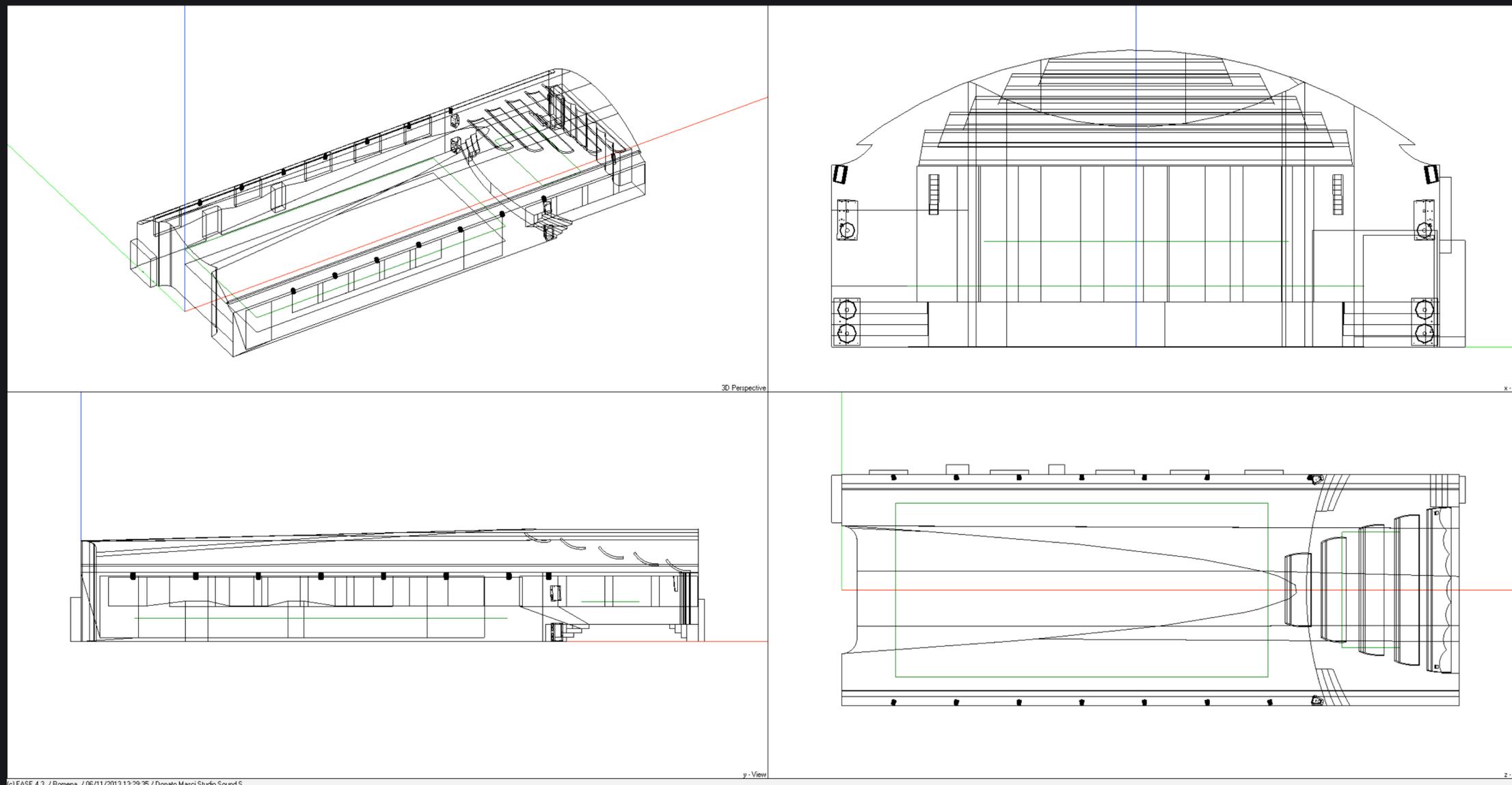
## Il lavoro a step

- A. Analisi dello stato di fatto → lunga riverberazione.
- B. Analisi dei materiali esistenti
  - 1. pietra (ok ma lavoro su intonaco x diffusione);
  - 2. laterizio su volta (problematico, necessita di correzione acustica);
  - 3. pavimento, da rifare;
  - 4. finestre (ok ma predisposizione di tendaggi per eventi con meno riverberazione).
- C. Acustica geometrica:
  - 1. canopy al soffitto;
  - 2. “controvolta” in cartongesso forato.
- D. Progettazione acustica interventi:
  - 1. modello previsionale al CAD acustico;
  - 2. scelta dei materiali ignifughi (la maggior parte dei quali in classe 0) per problemi di carico d'incendio del locale.

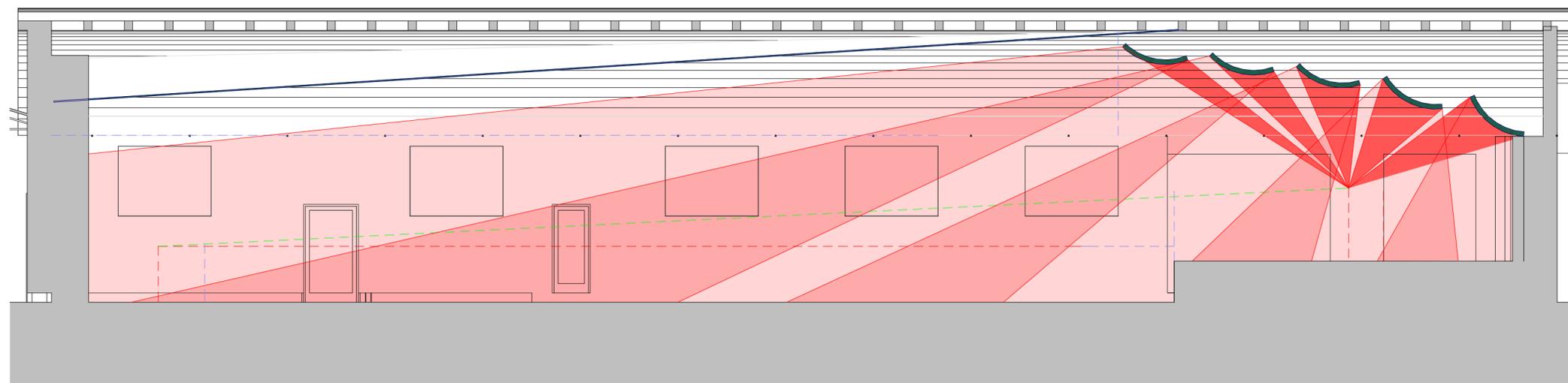




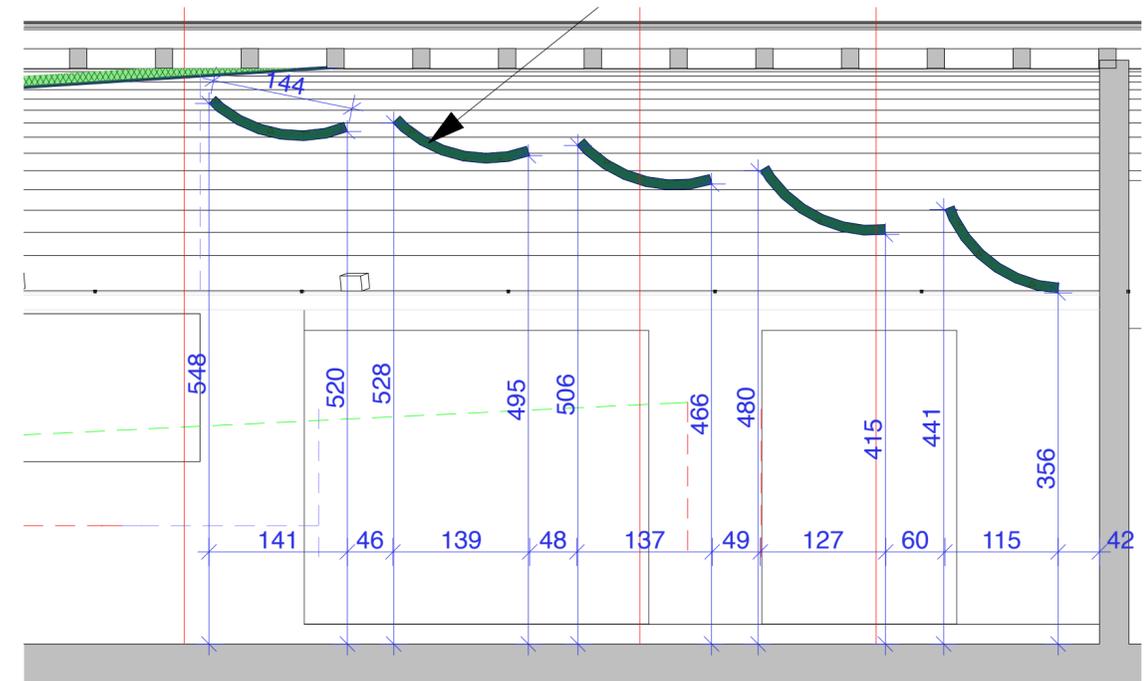
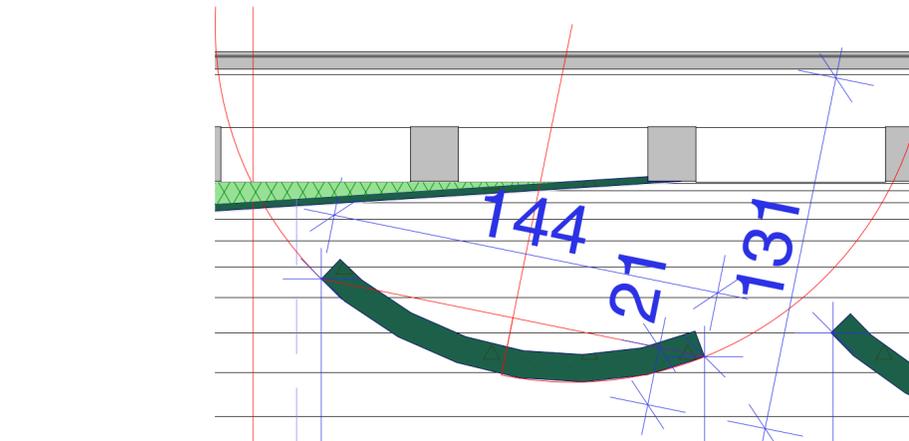
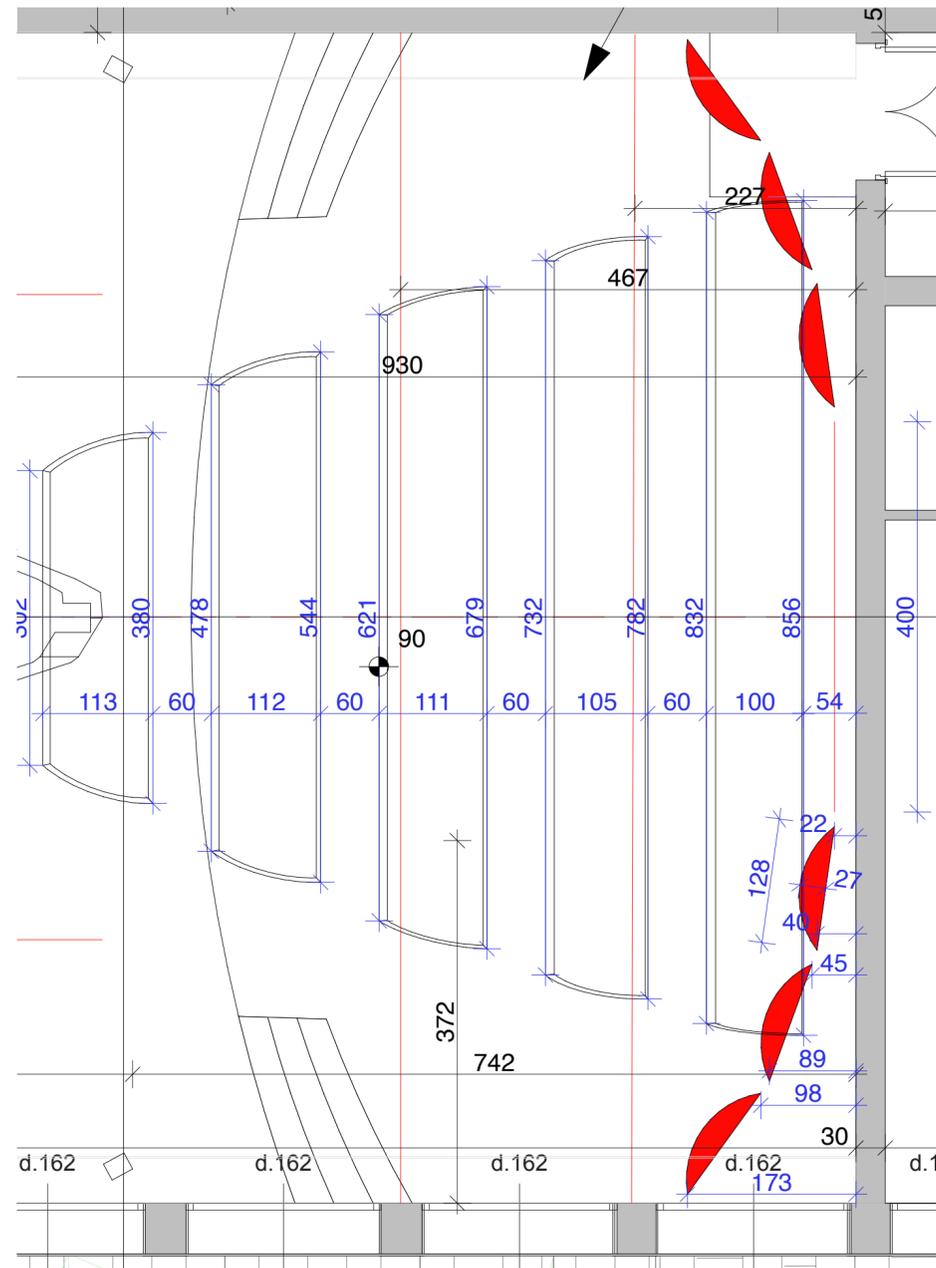
# Modello al CAD acustico



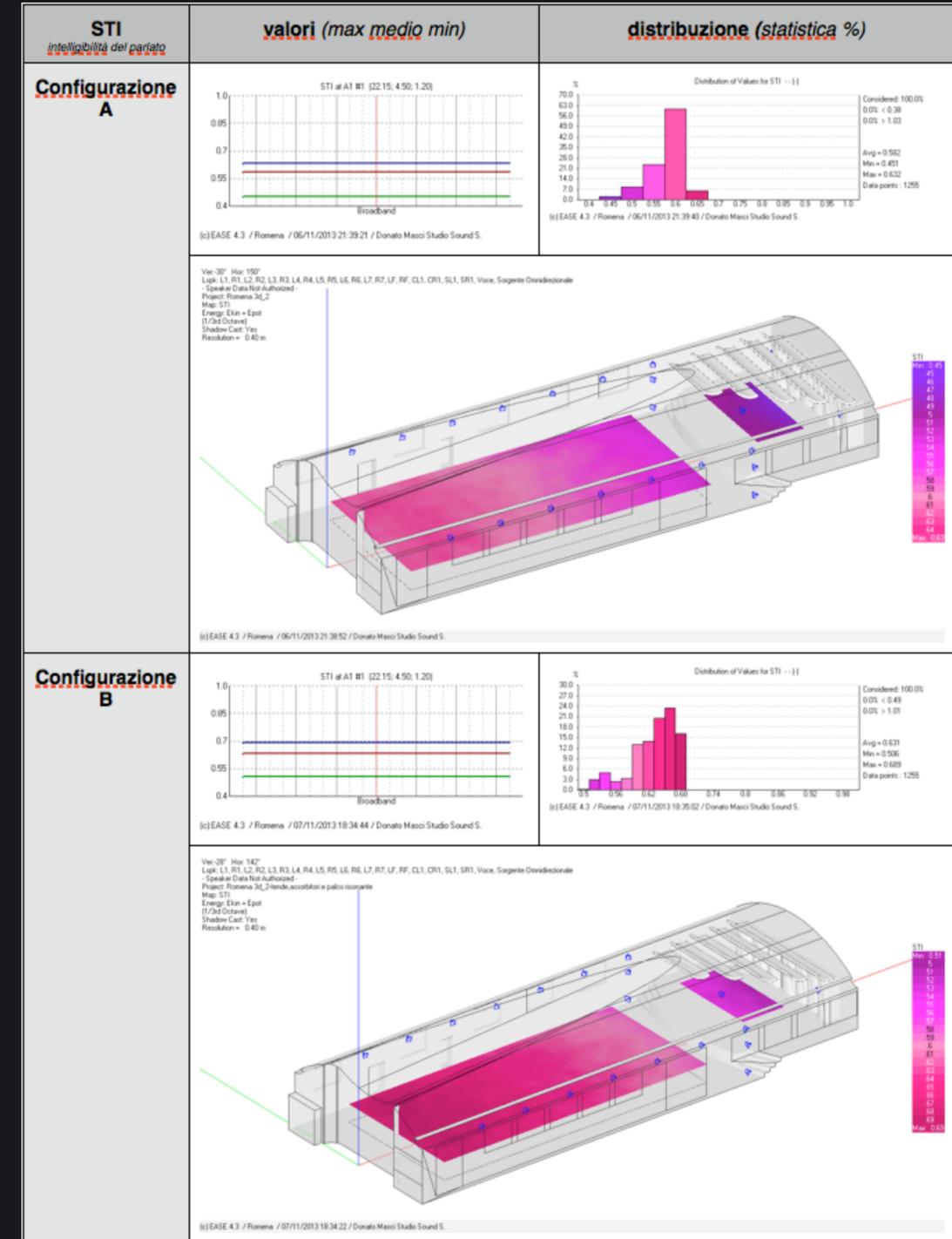
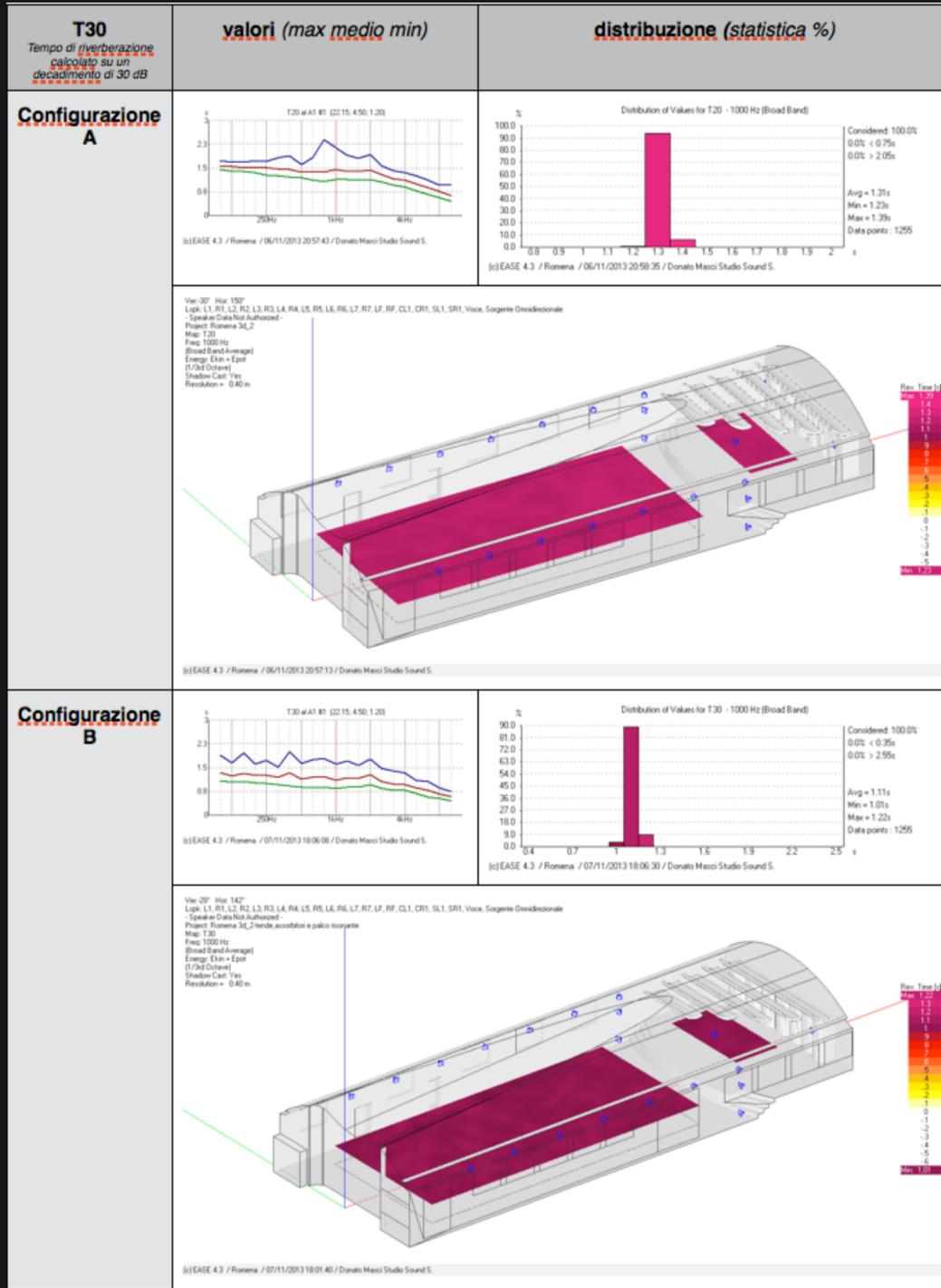
## Acustica Geometrica



# Camera acustica: voltine fondo palco, canopy



# Risultati al CAD acustico





abbiamo lasciato i materiali originali per  
rispetto verso la struttura



e abbiamo inserito delle correzioni  
integrate architettonicamente con  
materiali ignifughi



il palco è tecnologicamente evoluto per poter accogliere una conferenza, un reading, un concerto amplificato e un concerto acustico non amplificato



l'acustica del soffitto (e eventuali correzioni mobili laterali e sul retro a formare una "camera acustica") permettono l'amplificazione naturale di sorgenti acustiche come un'orchestra



anche le basse frequenze dei  
contrabbassi e violoncelli sono facilmente  
percepibili nell'ambiente



il retro è completamente proiettabile



una sala tecnologicamente avanzata in un ambiente tradizionale e antico, che funziona bene per la correzione acustica studiata ad hoc



le sedute sono completamente mobili e riarrangiabili per diverse tipologie di evento

# Aula Magna scolastica

San Felice sul Panaro  
*...gara d'appalto, vinta con  
massimo dei voti...*



## Il lavoro a step

NORMATIVA APPLICABILE : I valori di riferimento per l'isolamento acustico sono stabiliti dal DPCM 5 dicembre 1997, secondo la seguente tabella:

Categoria dell'edificio	Parametri				
	R' <sub>w</sub>	D <sub>2m,nT,w</sub>	L' <sub>n,w</sub>	L <sub>Asmax</sub>	L <sub>Aeq</sub>
D	55	45	58	35	25
A, C	50	40	63	35	35
<b>E</b>	<b>50</b>	<b>48</b>	<b>58</b>	<b>35</b>	<b>25</b>
B, F, G	50	42	55	35	35

Valori di R<sub>w</sub> riferiti a elementi di separazione tra due distinte unità immobiliari.

Tabella di sintesi delle migliori relative all'isolamento acustico, rispetto ad indici di normativa o capitolato:

Elemento	Requisito da capitolato o da normativa <u>dB</u> A	Valore raggiunto <u>dB</u> A
Pareti divisorie aula magna	R' <sub>w</sub> minimo 47 (capitolato)	<u>R<sub>w</sub> 71</u> ; R' <sub>w</sub> min 62,8
Porte aula magna	R' <sub>w</sub> min 38 (capitolato)	<u>R<sub>w</sub> 56</u> ; R' <sub>w</sub> min 62,8
Finestre	R' <sub>w</sub> min 38 (capitolato)	facciata ingresso <u>R<sub>w</sub> 50</u> ; R' <sub>w</sub> 49,4 facciate est/ovest <u>R<sub>w</sub> 40</u> ; R' <sub>w</sub> 50,0
Pareti divisorie aula magna	R' <sub>w</sub> min 50 (normativa)	R' <sub>w</sub> min 62,8
Pareti divisorie altri locali	R' <sub>w</sub> min 50 (normativa)	<u>R<sub>w</sub> 65 dB</u> A; R' <sub>w</sub> min 55
Facciata e copertura	D <sub>2m,nT,w</sub> min 48 (normativa)	D <sub>2m,nT,w</sub> 50,0
Solaio interpiano aereo	R' <sub>w</sub> min 50 (normativa)	R' <sub>w</sub> 59
Solaio interpiano calpestio	L' <sub>n,w</sub> massimo 58 (normativa)	L' <sub>n,w</sub> 51

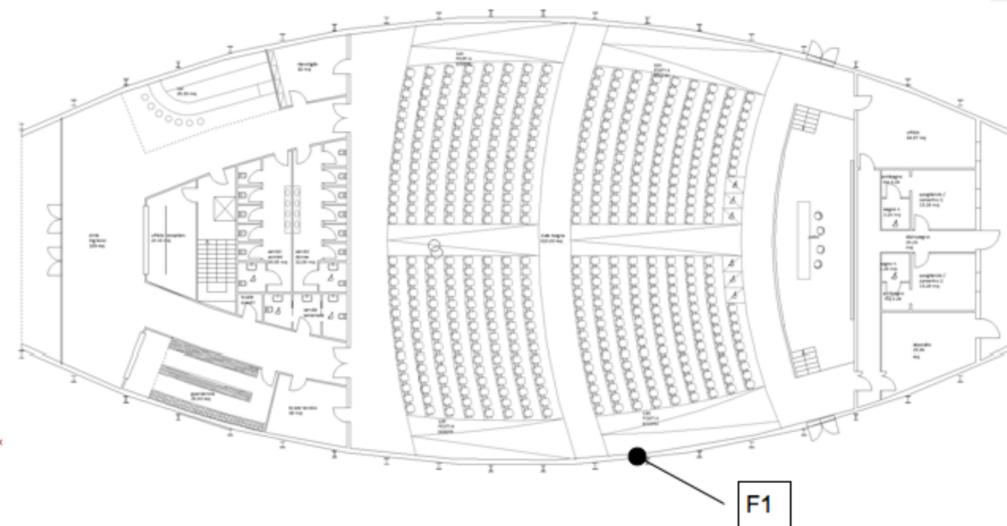
- A. Requisiti acustici passivi degli edifici:
1. isolamento di facciata;
  2. isolamento tra ambienti;
  3. controllo rumorosità da calpestio;
  4. controllo rumorosità impianti;

- B. acustica interna:

1. controllo del tempo di riverberazione;
2. altri parametri di qualità (C<sub>50</sub>, D<sub>50</sub>, STI);
3. studio previsionale – sorgente vocale;
4. studio previsionale – sorgente omnidirezionale;
5. studio previsionale – impianto audio residente;
6. studio previsionale – impianto audio per EVAC.

# Requisiti acustici passivi: Isolamento di Facciata

## VERIFICA F1



### Parete:

La parete sarà costruita in analogia con il tipo DATAHOLZ "fdmhbo01-02" (fatta eccezione per la lamiera superiore che si prevede liscia).

### *V. Capitolato Tecnico Prestazionale.*

### Porta di accesso;

Si prevede la seguente porta tipo "SEBINO 46DB", dotata di opportuno maniglione antipanico:

### *V. Capitolato Tecnico Prestazionale.*

### Vetrare

Le vetrate saranno tipo Pilkington **Optiphon™** da  $R_w$  40 dBA:

### *V. Capitolato Tecnico Prestazionale.*

## Calcolo isolamento acustico di facciata:

*dim. Interne:*

tipo =	sezione		
a: altezza facciata =	8	m	misure interne
b: <u>profond.</u> locale =	23	m	misure interne
c: <u>largh.</u> facciata =	31	m	misure interne
superficie locale =	713,00	mq	
V locale =	5704,00	mc	
S facciata =	248,0	mq	

$$R' = -10 \lg \left( \sum_{i=1}^n \frac{S_i}{S} 10^{-\frac{R_i}{10}} + \frac{A_0}{S} \sum_{i=1}^p 10^{-\frac{D_{ni}}{10}} \right) - K (dB)$$

elementi della facciata

descriz.	porta	pareti opache	vetrate	
<u>Ri (dB)</u>	46	45	40	
<u>Si (mq)</u>	3,8	182,2	62,0	

$S_i/S * (10^{-R_i/10}) =$       3,84886E-07      2,32325E-05      0,000025      0

$$\sum_{i=1}^n \frac{S_i}{S} 10^{-\frac{R_i}{10}} = 4,86174E-05$$

$$\frac{A_0}{S} \sum_{i=1}^p 10^{-\frac{D_{ni}}{10}} = 0$$

$R' =$       41,1

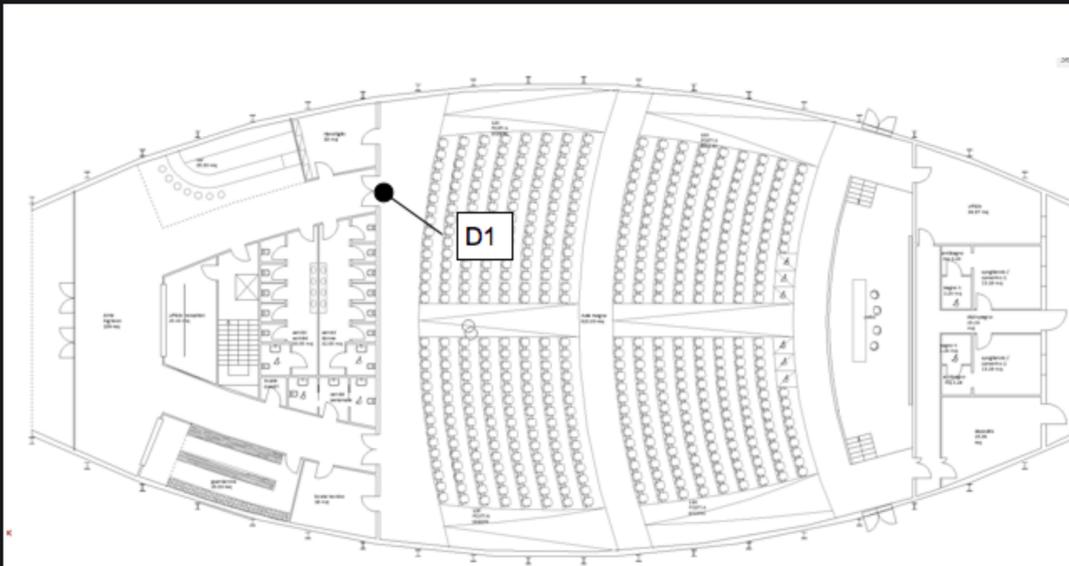
**CALCOLO DLfs**  
 Forma facciata (DLfs) = 0

**CALCOLO RAPPORTO DIMENSIONALE**

$$10 \lg \frac{V}{6 T_0 S} = 8,85$$

**ISOLAMENTO DI FACCIATA**  
 $D_{2m,nT} =$       50,0      MINIMO = 48

# Requisiti acustici passivi: verifica delle partizioni interne



Volume ambiente ricevente (m<sup>3</sup>) **800,98**

### Risultato

Indice di valutazione del potere fonoisolante apparente $R'_w$ (dB)	<b>59</b>
Indice di valutazione dell'isolamento acustico normalizzato $D_{nT,w}$ (dB)	<b>70</b>

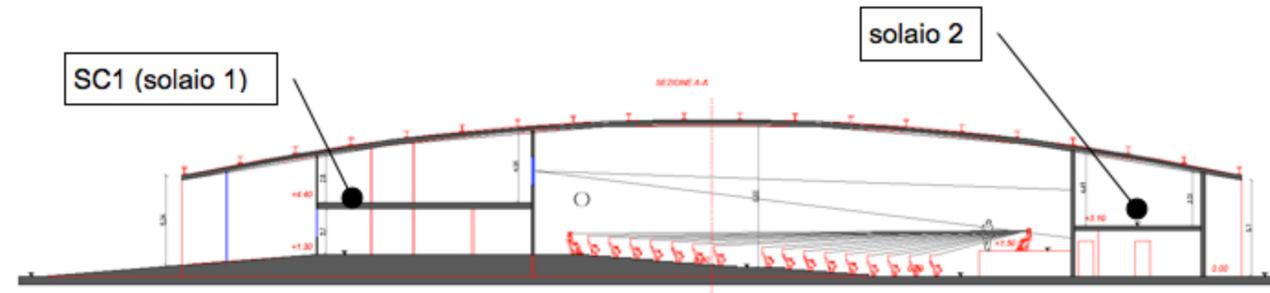
Ambiente	Valore limite di legge	Verifica
Edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili	$R'_w \geq 50$ (dB)	<b>Verificato</b>

Calcoli eseguiti con il software NIS elaborato da [eos s.r.l.](#) - Milano

Struttura di separazione	$R_w$ (dB)		
	62,8	Parete in cartongesso	
	Massa (kg/m <sup>2</sup> ) 70,00	1408 - <a href="#">knauf 71 dBA</a> con porta <a href="#">56 dBA</a>	
Struttura 1	$R_w$ (dB) 65,0	Parete in cartongesso	
	Massa (kg/m <sup>2</sup> )	<a href="#">Knauf w112</a>	
Struttura 2	$R_w$ (dB) 64,0	Parete in cartongesso	
	Massa (kg/m <sup>2</sup> ) 95,00	1327 - divisoria	
Struttura 3	$R_w$ (dB) 65,0	Parete in cartongesso	
	Massa (kg/m <sup>2</sup> )	<a href="#">Knauf w112</a>	
Struttura 4	$R_w$ (dB) 46,0	Solaio in calcestruzzo	
	Massa (kg/m <sup>2</sup> ) 200,00		
Struttura 5	$R_w$ (dB) 65,0	Parete in cartongesso	
	Massa (kg/m <sup>2</sup> )	<a href="#">Knauf w112</a>	
Struttura 6	$R_w$ (dB) 64,0	Parete in cartongesso	
	Massa (kg/m <sup>2</sup> ) 95,00	1327 - divisoria	
Struttura 7	$R_w$ (dB) 65,0	Parete in cartongesso	
	Massa (kg/m <sup>2</sup> )	<a href="#">Knauf w112</a>	
Struttura 8	$R_w$ (dB) 46,0	Solaio	
	Massa (kg/m <sup>2</sup> ) 200,00		

## Requisiti acustici passivi: verifica dei solai interpiano

### VERIFICA SC1 (ufficio direzione/ufficio reception)



stratigrafia:

- Solaio in ferro greco hybond h= 7 cm
  - Caldana collaborante in cemento armato h= 10 cm
  - Isolante in polistirene densità 30 kg/mc h = 8 cm
  - Materassino anticalpestio tipo ISOLMANT BIPLUS h = 0,8/0,9 cm
- V. Capitolato Tecnico Prestazionale.**
- Massetto in sabbia e cemento per pavimento h=6 cm
  - Pavimento in gres h= 1 cm

Si impone la installazione di materassino anticalpestio e relative fasce laterali, posato a regola d'arte, secondo indicazioni del produttore.

$m1'$ = m' solaio nudo (soletta) =	307	kg/mq
$m2'$ = m' pavimento galleggiante (massetto) =	108	kg/mq
$s$ = rigidità dinamica strato resiliente in NN/mc =	11	MN/mc

#### solaio nudo

$L_n$  = isolamento al calpestio =  $164 - 35 * \log m'$  = 76,95 dB UNI

#### solaio laterocementeo: incremento del fonoisolamento con pavimento galleggiante

$DL_n$  =  $30 * \text{LOG}(500/fo)$  = 29,73 dB

$fo$  =  $160 \text{ RADQ}(S'/m2')$  = 51,06

$k$  = 4 dB

#### solaio complessivo

$L_{n,w}$  =  $L_n - DL_n + k$  = 51,22 dB UNI

Si prevede l'applicazione di tale materassino anche nel solaio indicato a disegno come "Solaio 2", per eventuali usi futuri.

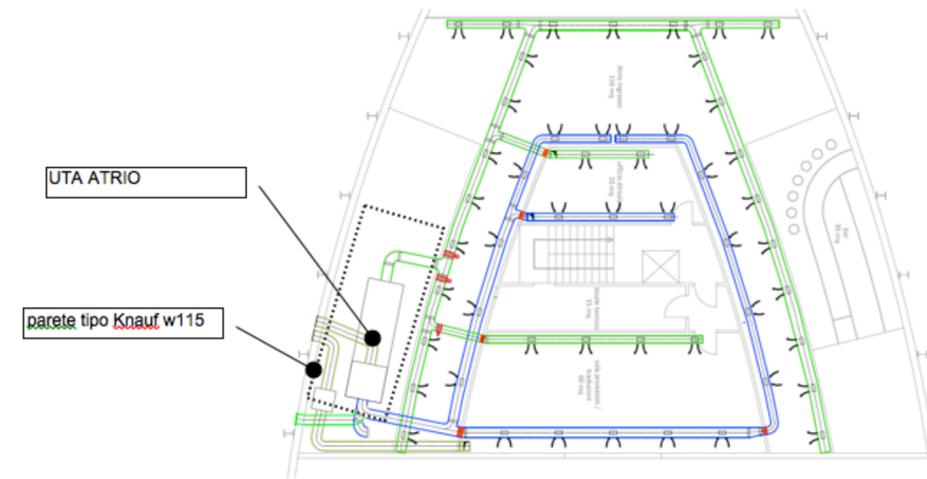
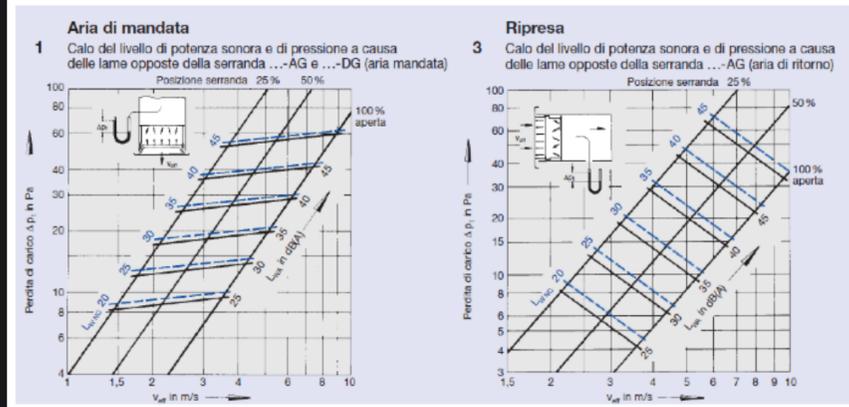
# Requisiti acustici passivi: verifica rumorosità impianti (UTA)

Su entrambe le UTA (interna ed esterna) verranno applicati silenziatori sulla mandata del tipo TROX

Italia S.p.A."CB" coi seguenti valori di smorzamento acustico:

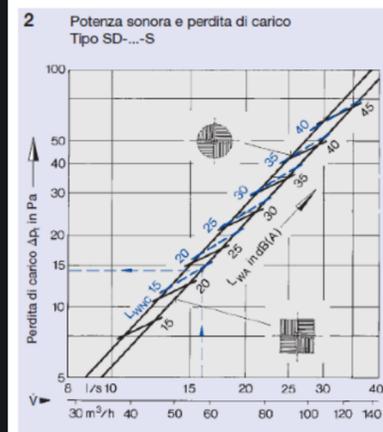
Grandezza	Lunghezza L = 1500 mm							
	$f_{m, ott}$ in Hz							
	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
250	7	14	22	41	50	50	50	44
315	7	12	20	37	50	50	50	34
400	6	10	17	33	50	50	40	26
450	5	9	16	31	50	50	36	23
500	5	9	16	30	50	50	33	21
560	4	8	15	30	50	48	29	19
630	4	8	14	29	50	44	26	16
710	4	7	13	28	50	41	23	14
800	3	6	13	26	49	37	20	12
900	3	6	12	24	47	34	17	11
1000	3	6	11	23	45	33	16	10

Le griglie di mandata e ripresa dell'Aula Magna saranno del tipo del tipo TROX Italia S.p.A., con le seguenti caratteristiche acustiche (si prevede l'uso 100% aperta):

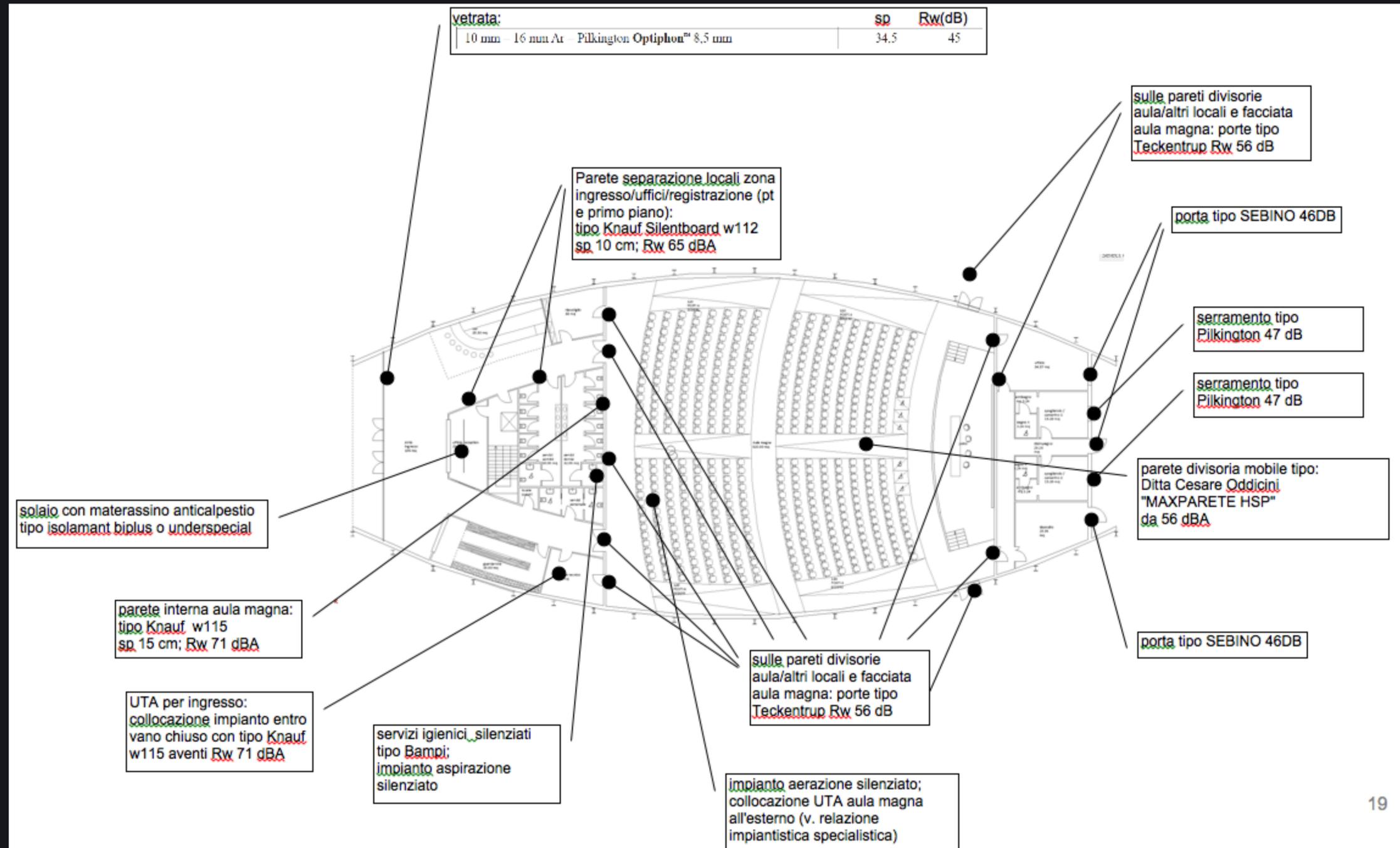


Su entrambe le UTA (interna ed esterna) verranno applicati silenziatori sulla mandata del tipo TROX Italia S.p.A."CB" con valori di smorzamento acustico riportati in *Capitolato Tecnico Prestazionale*.

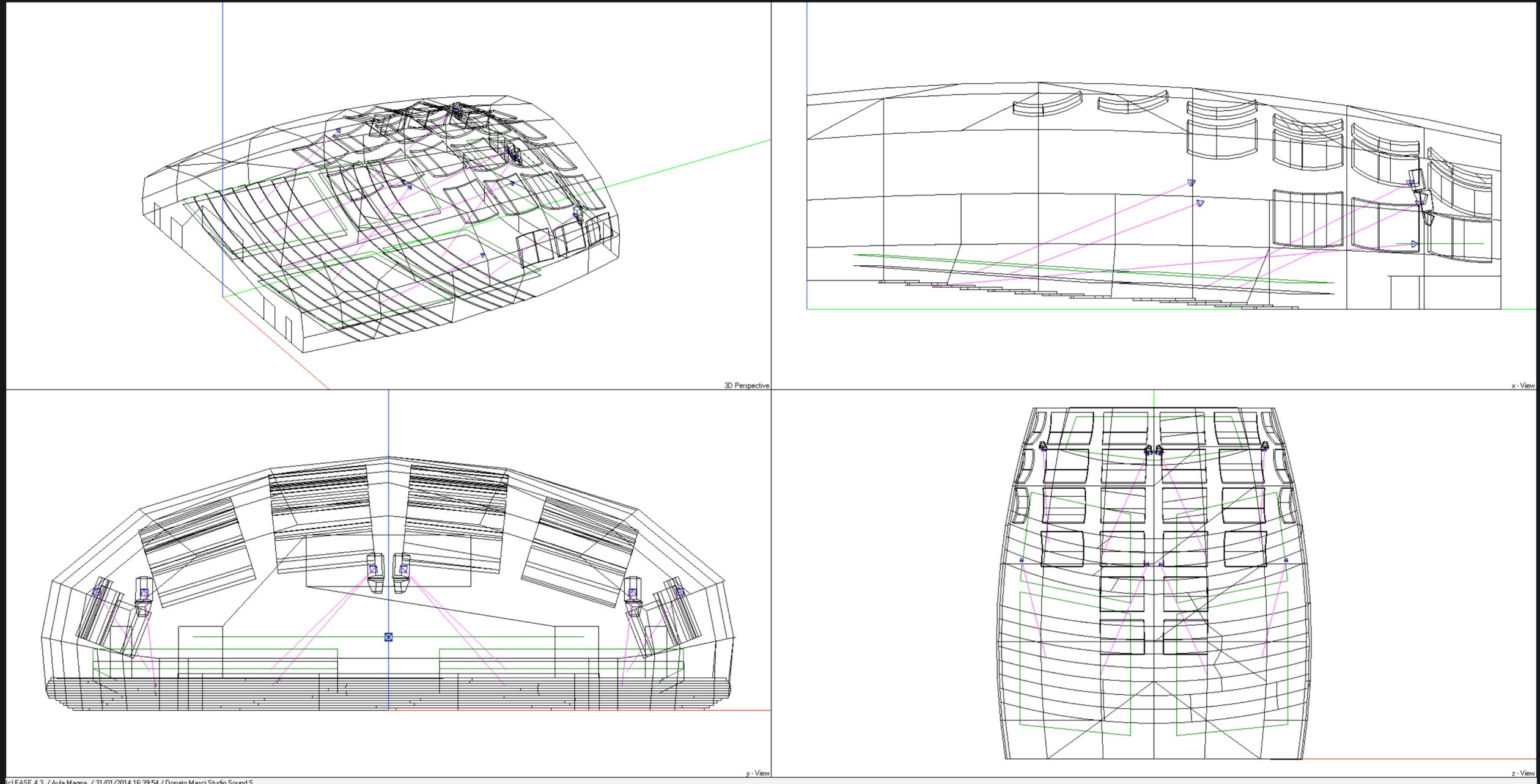
Tipo	$\dot{V}$ l/s	$\dot{V}$ m³/h	Spettro sonoro								$L_{wa}$ dB(A)	$L_{wnc}$ NC
			Frequenza media di banda d'ottava									
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
SD-...-LR-T	14	50	38	30	27	25	16	10	-	-	25	19
	12	43	34	25	23	21	12	6	-	-	21	14
	10	36	28	20	17	15	6	-	-	-	15	8
SD-Q-LQ-T	14	50	28	24	22	20	11	6	-	-	20	13
	12	43	24	20	18	16	9	-	-	-	16	9
	10	36	18	14	12	10	-	-	-	-	10	-
SD-...-LR-S	24	86	39	33	32	33	34	34	26	10	39	34
	16	58	29	27	26	25	23	18	-	-	27	22
	10	36	20	18	15	13	-	-	-	-	13	6
SD-Q-LQ-S	24	86	35	32	31	30	30	27	20	5	34	29
	16	58	27	25	23	21	17	10	-	-	22	15
	12	43	22	18	16	14	5	-	-	-	14	7



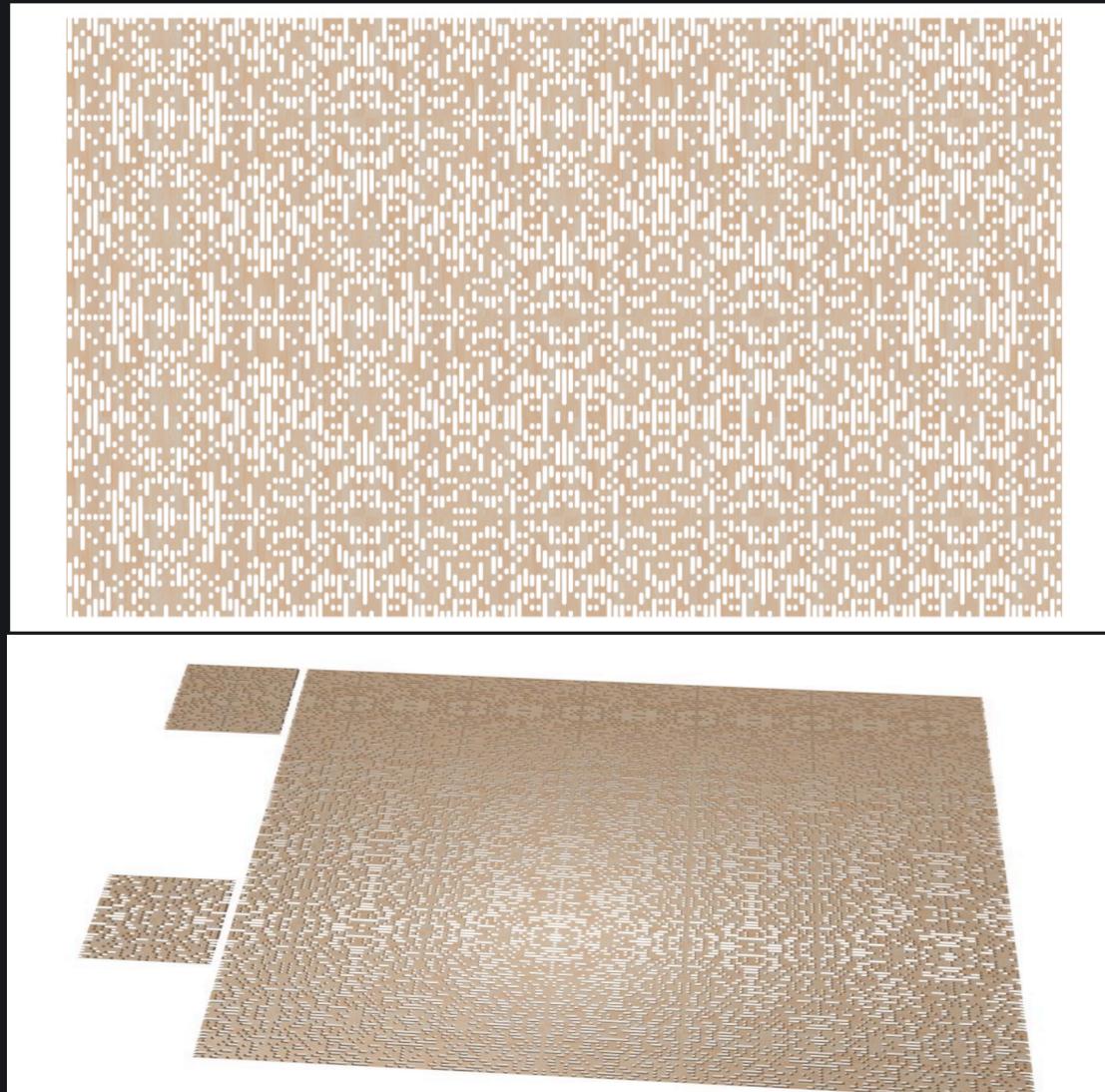
## Requisiti acustici passivi: sintesi generale



# Acustica Interna: modello al CAD Acustico

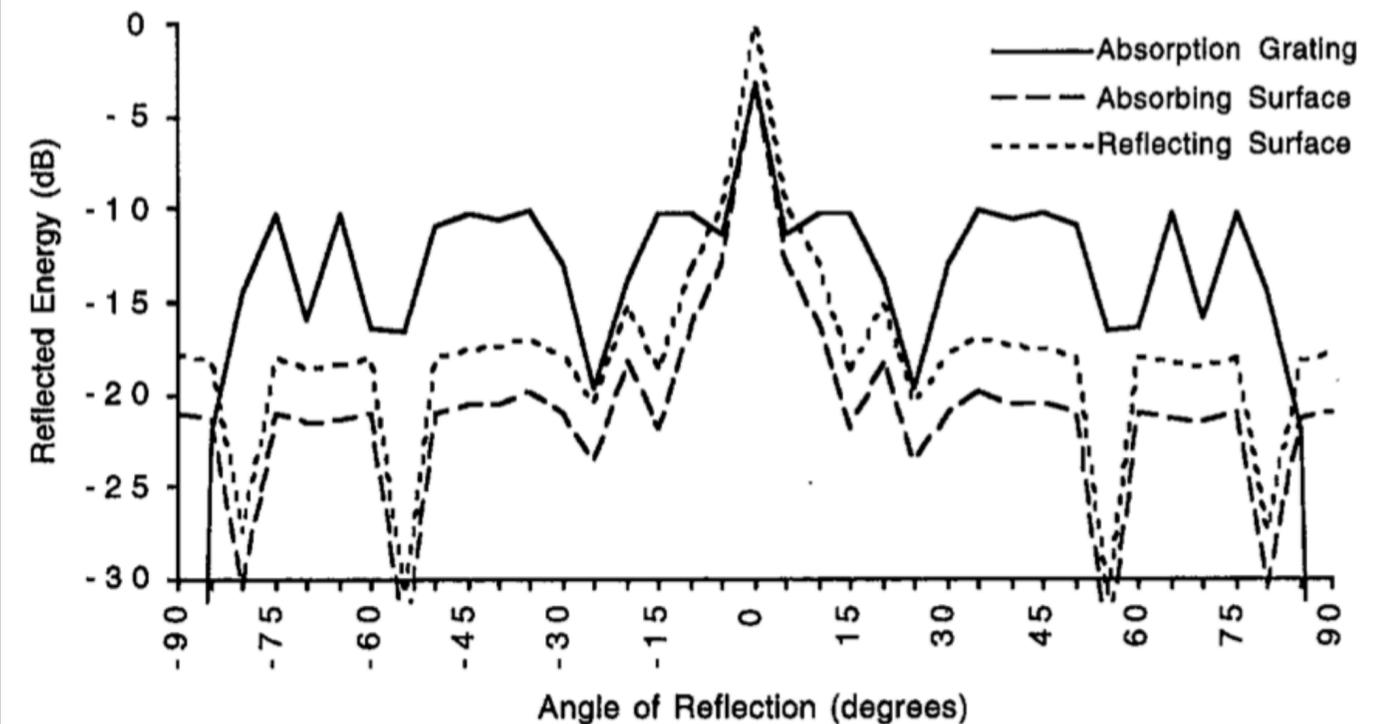


## Materiali: Binary Amplitude Diffuser



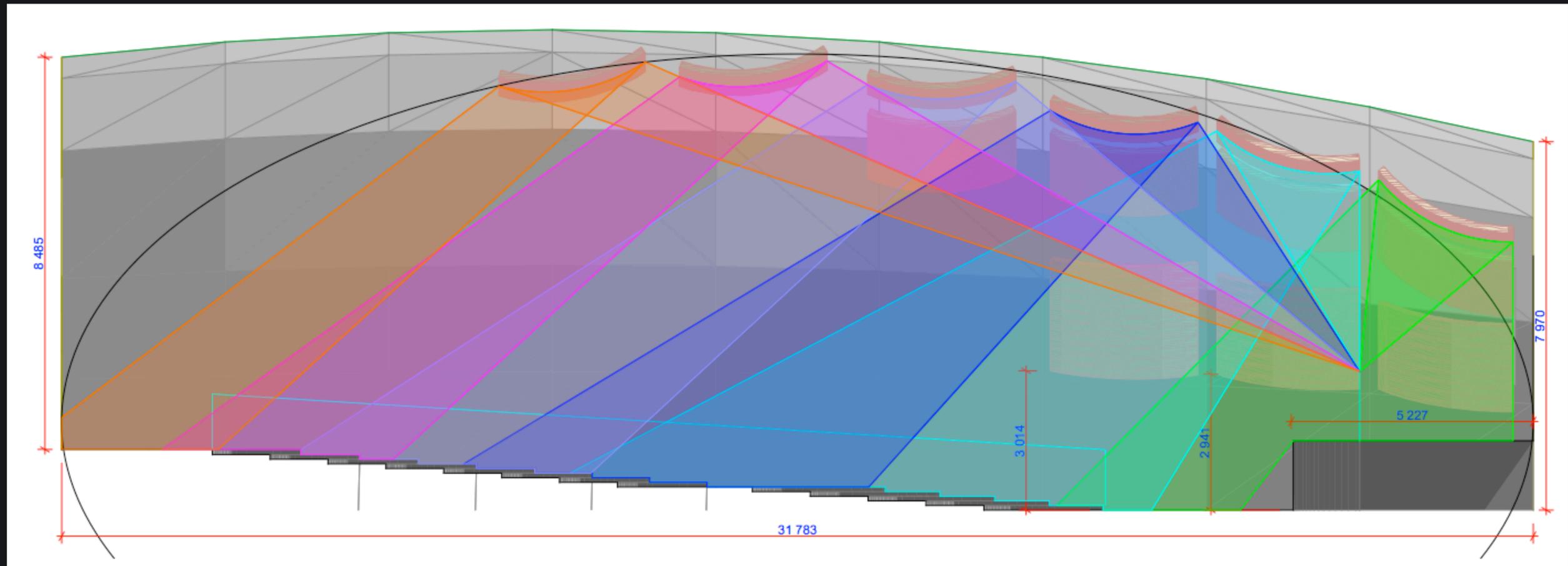
La parte del suono che non viene assorbita, viene riflessa con un angolo molto più ampio di quello incidente, creando così un campo acustico "diffuso". Questi dispositivi sono creati sulla base di un algoritmo matematico basato sulle sequenze MLS e i numeri primi, e rappresenta lo stato dell'arte della correzione acustica degli interni.

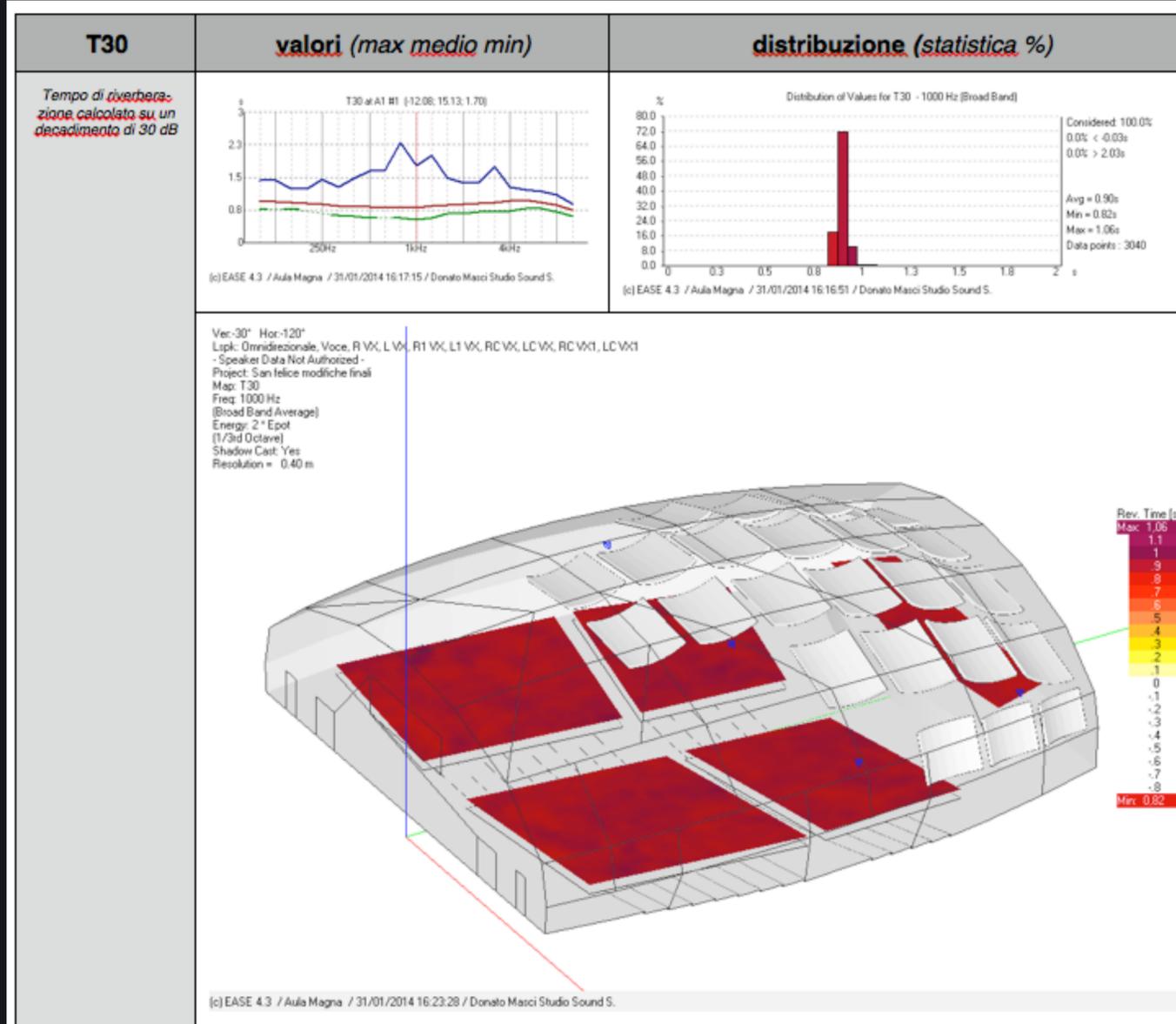
Figure 3. Reflected Energy Ratio vs Angle ( $\lambda = 0.5$ )



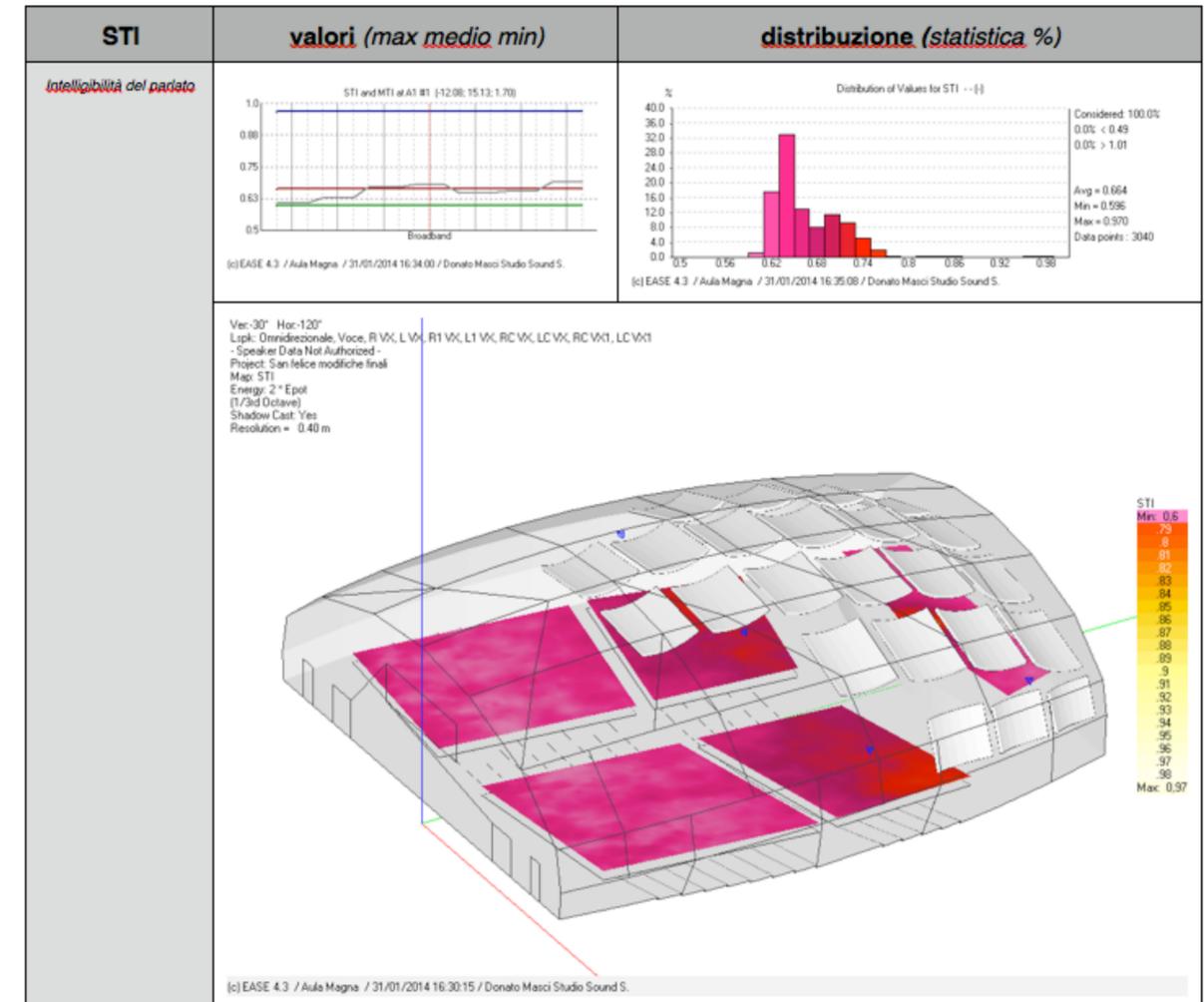
## Geometria: Canopy al Soffitto

Le prime riflessioni sono state "guidate" verso i recettori più lontani che altrimenti avrebbero sentito una pressione sonora molto meno elevata di quelli alle prime file. I materiali posti in fondo alla sala e sull'ultima parte del soffitto invece sono (parzialmente) assorbenti per smorzare le riflessioni successive.





L'intelligibilità del parlato assume valori compresi tra 0.65 ÷ 0.75, ideale per teatri, auditorium e sale conferenza (si veda la legenda in Appendice B).



Simulazione al CAD acustico EASE 4.3: parametro di intelligibilità del parlato con impianto audio, i risultati sono perfettamente in linea con i valori ottimali presenti in letteratura.

# Parrocchia Ospedaliera San Gerardo

Monza





misure preliminari a sala completamente vuota



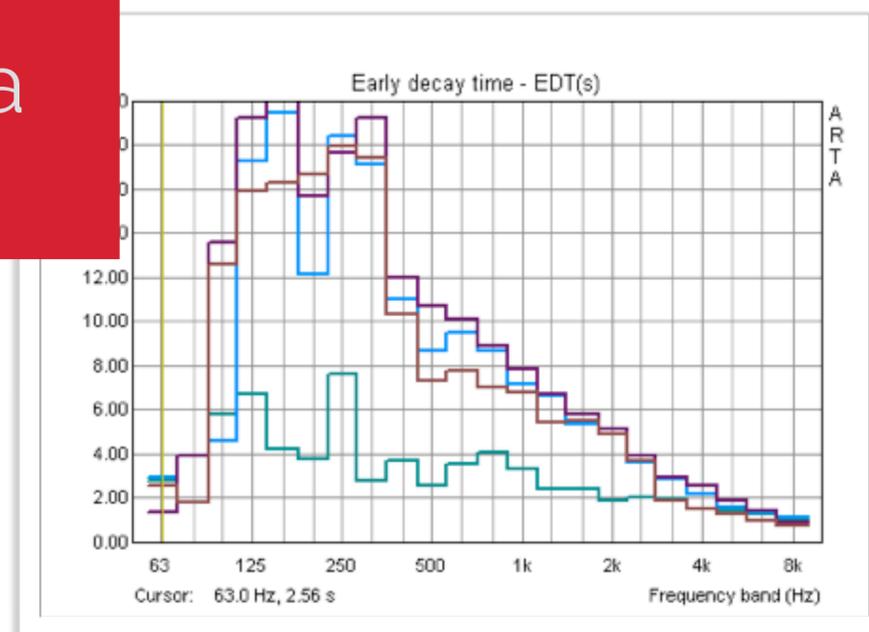
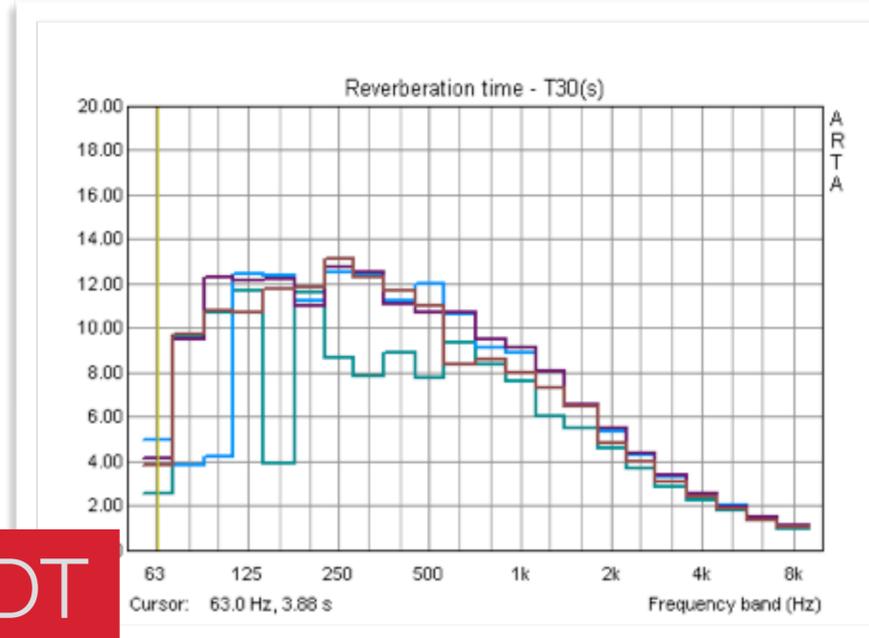
fenomeni di focalizzazione della cupola, strano fenomeno del soffitto

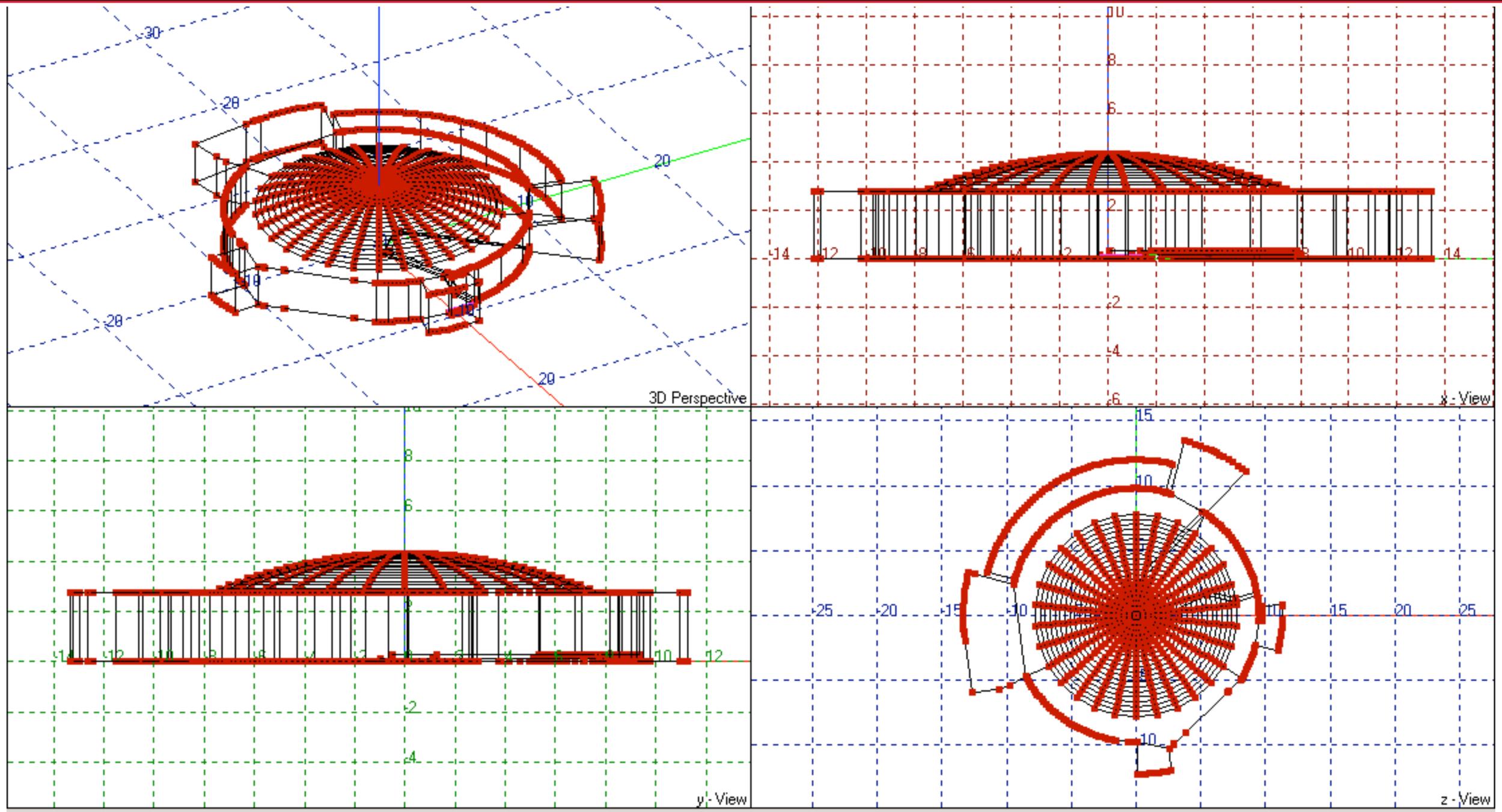
COLORE	PUNTO DI MISURA	
	ANTE OPERAM	POST OPERAM
1	1 m dal bordo cupola verso centro	davanti altare dx
2	2,5 m dal bordo cupola verso centro	davanti altare sx
3	5 m dal bordo cupola verso centro	fine cupola
4	7,5 m dal bordo cupola verso centro	appena sotto cupola



T30 di circa 12 s e EDT con punte di 20 s!!!  
...e non erano ancora chiuse le finestre...

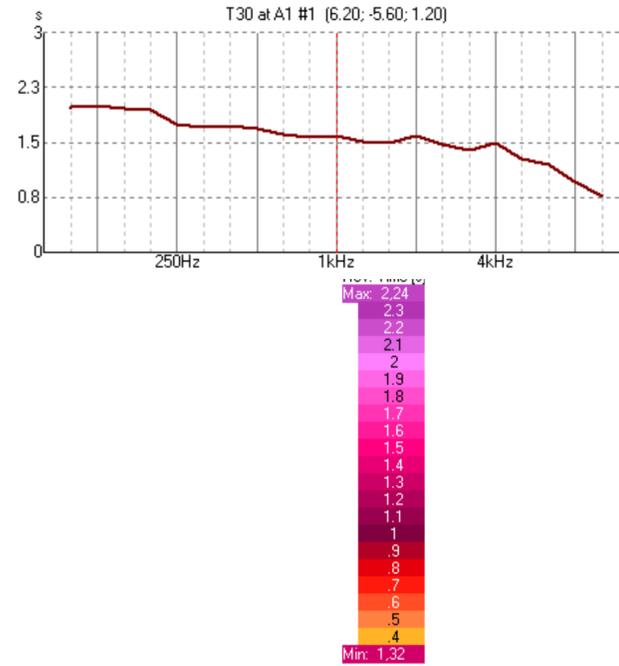
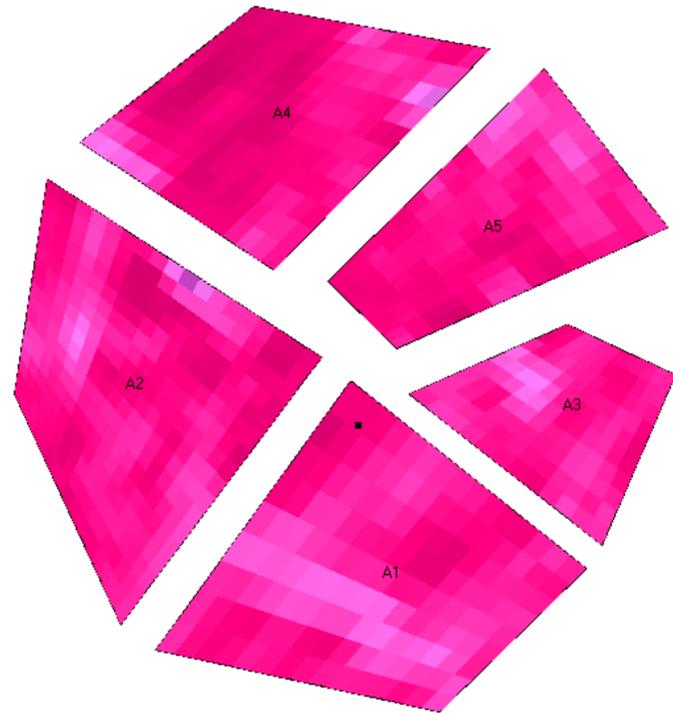
Abbiamo verificato inoltre un fatto piuttosto interessante, ossia che il picco di riverberazione si spostava leggermente in frequenza tra le varie misure che abbiamo effettuato a distanze differenti dal centro della cupola (quello misurato sul bordo è più in basso di quello misurato al centro).



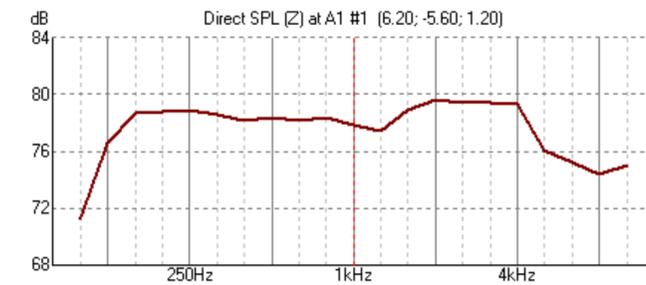
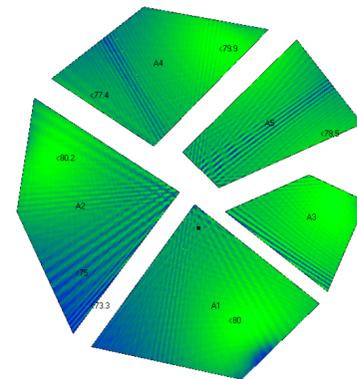
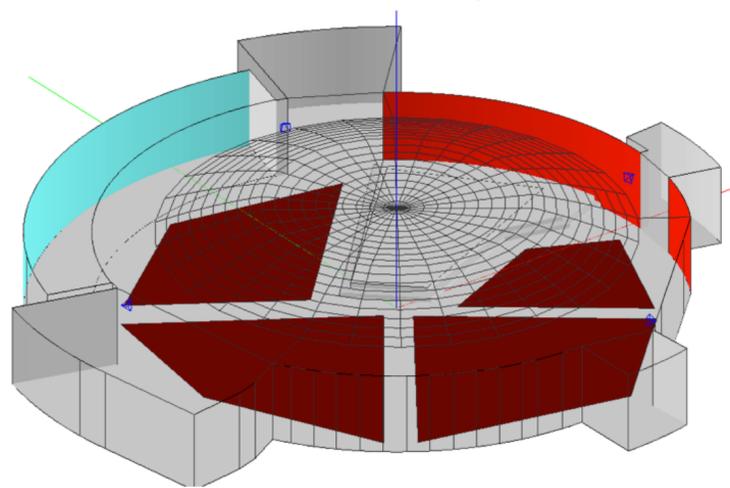
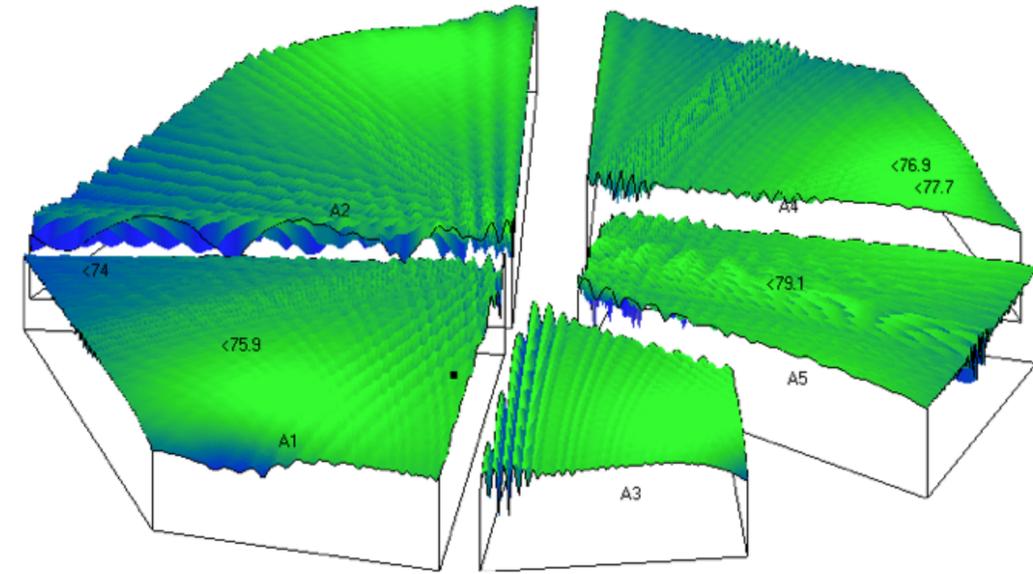


[c] EASE 4.3 / S Gerardo / 21/09/2009 11.35.07 / Danza Cosmica di Musci Donato Donato Masci

T30



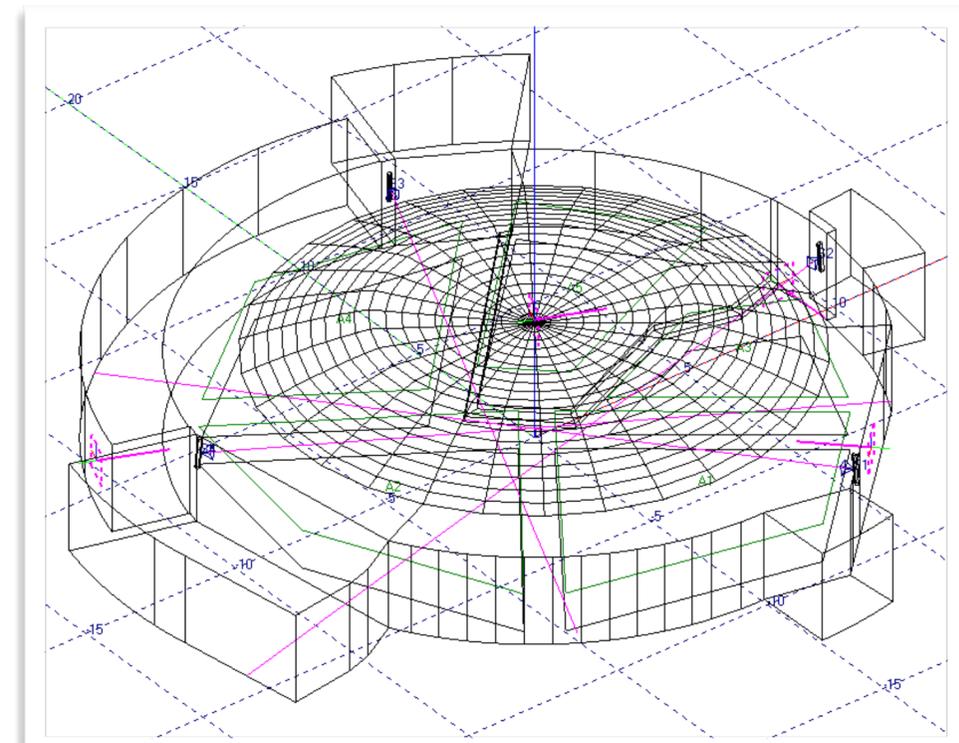
SPL@1000Hz



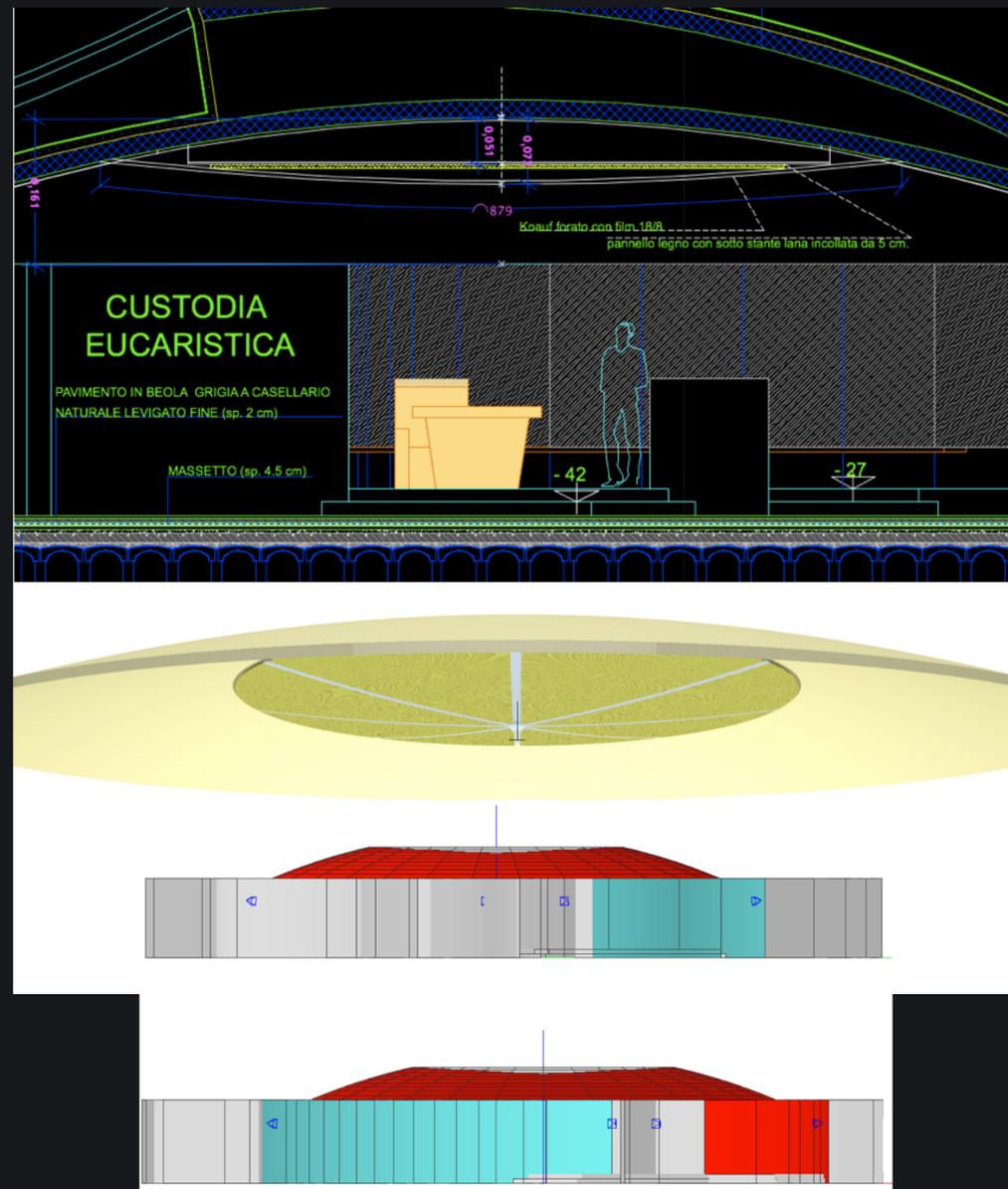


Gli altoparlanti scelti sono le JBL CBT 100LA (Line Array Column Loudspeaker with Sixteen 50 mm Drivers). Abbiamo effettuato questa scelta per la loro efficienza nel riprodurre il parlato, per lo stretto angolo di diffusione verticale (che è utile per non far lavorare la cupola in maniera negativa per il campo acustico) e per la facilità di inclinazione e montaggio.

Le casse sono state disposte in punti strategici e puntate con un angolo di 5° verso il basso per far sì che la cupola non influisca negativamente sull'acustica della chiesa. Nella figura accanto le linee rosa rappresentano il puntamento delle casse.

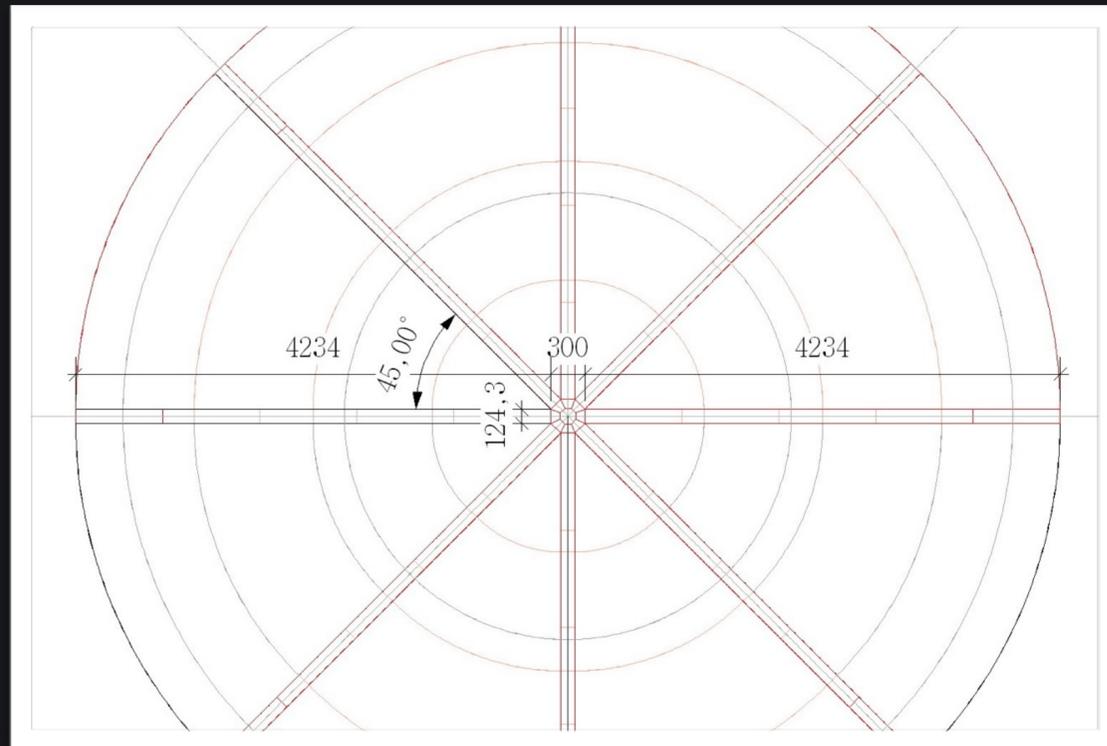


## La Correzione

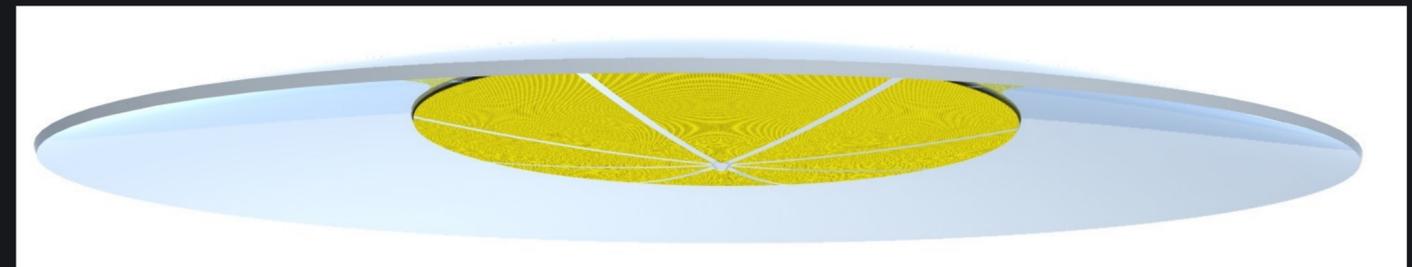


- A. Creazione di un controsoffitto a forma di cupola rovesciata dentro la cupola (“Controcupola”): il sistema funziona da trappola per le basse frequenze ed essendo una superficie convessa e non concava, diffonde il campo acustico con un angolo molto superiore a prima. L’interno della controcupola è riempito con materiale fonoassorbente (lana di vetro) e la superficie della controcupola è in legno forato con percentuale di foratura del 15%;
- B. rivestimento del resto delle pareti con intonaco fonoassorbente;
- C. scelta dell’impianto di diffusione acustica: JBL CBT100LA line array. Abbiamo effettuato questa scelta per la loro efficienza nel riprodurre il parlato, per lo stretto angolo di diffusione verticale (che è utile per non far lavorare la cupola in maniera negativa per il campo acustico) e per la facilità di inclinazione e montaggio. Abbiamo predisposto 4 di queste casse cercando il modo migliore per creare un campo acustico omogeneo in tutta la chiesa.

## Perché la controcupola?

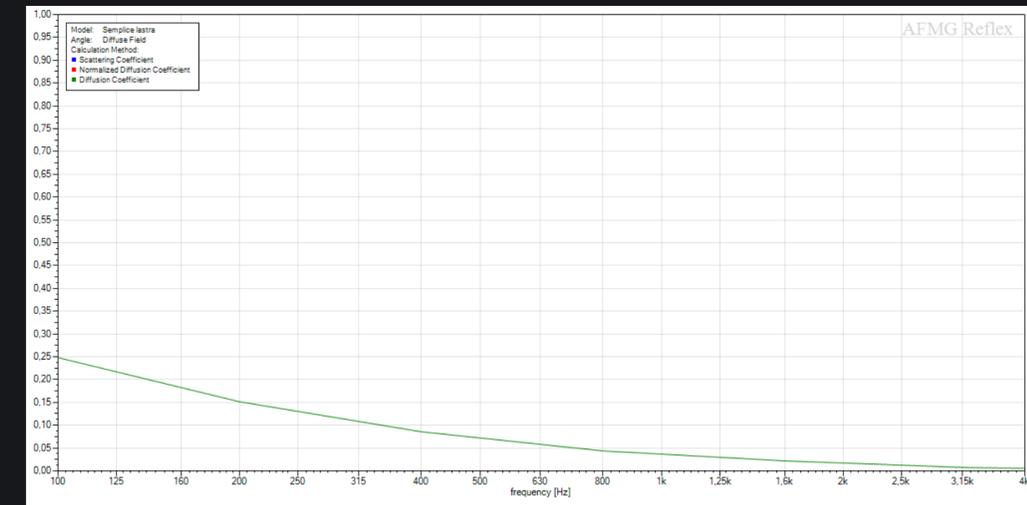
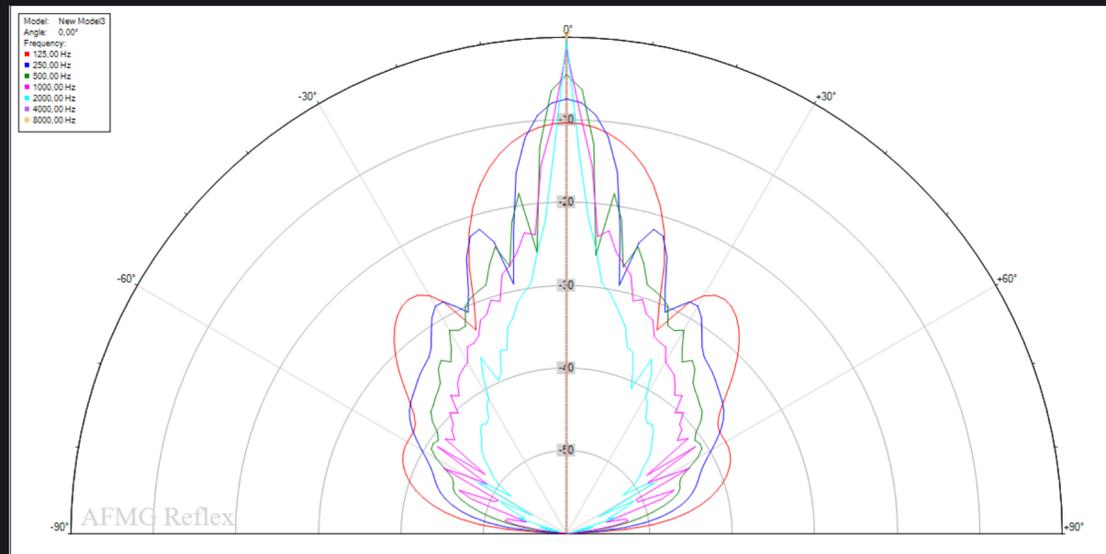


- A. L'esperienza degli studi di registrazione ci insegna che i flutter-echo sono molto fastidiosi e si creano non appena le superfici sono parallele (anche se in parte assorbenti come la controcupola).
- B. È stato poi studiato con Reflex AFMG il profilo e si notano le differenze nello scattering e nella diffusione sonora verso questo elemento.

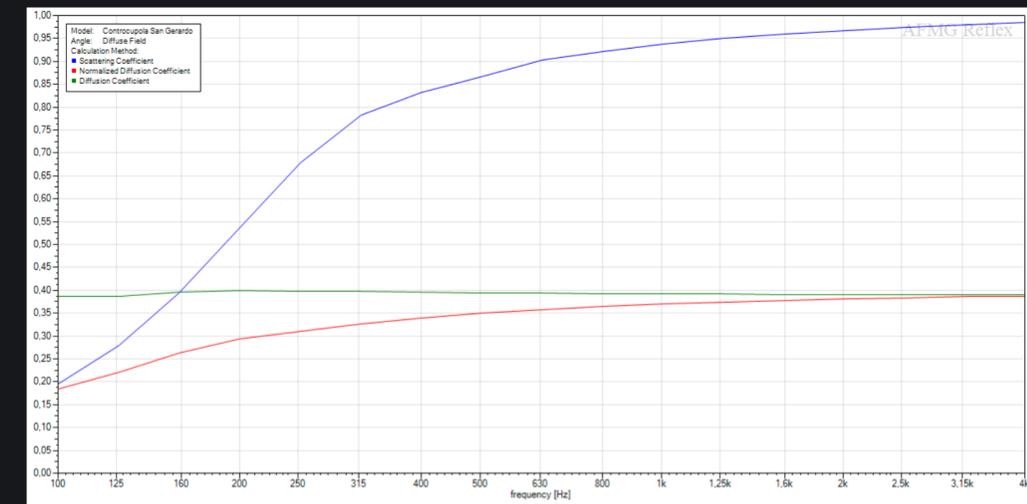
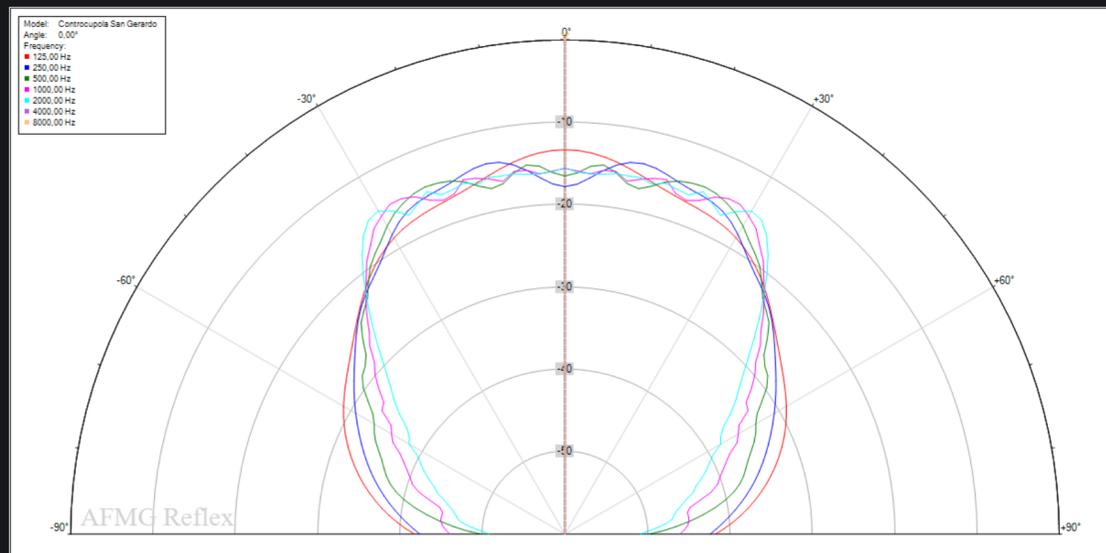


# Diffusione e scattering sulla controcupola

lastra normale



controcupola





controcupola costruita da Alberto Ferraris  
GGP Sound



Costruzione a terra del telaio in legno  
lamellare



Sospensione con tiranti



perno centrale e posizionamento fine



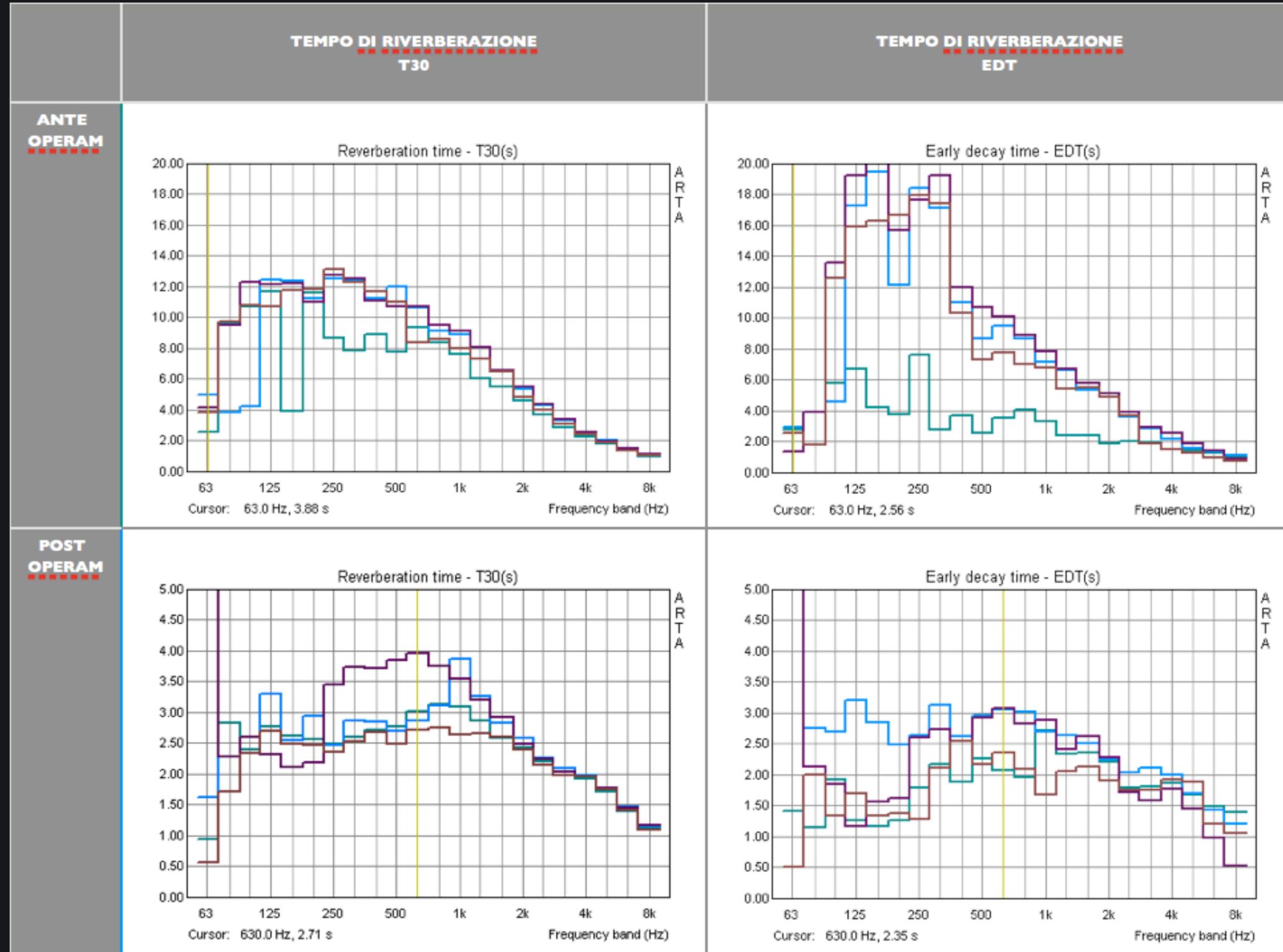
Applicazione delle lastre curvate e forate a pantografo



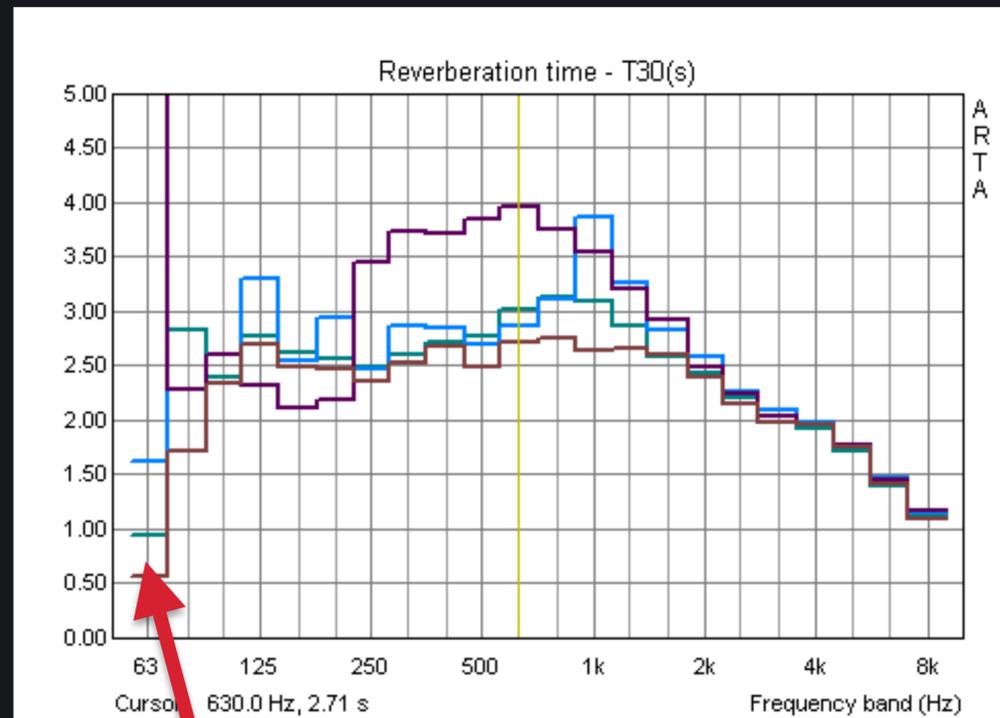
... ultimata la controcupola, mancano verniciatura e corpi illuminanti.

# Risultati

	STI		%Alcons	
	Ante operam	post opera	ante opera	post opera
1	0.40	0.56	19.50	8.72
2	0.38	0.61	22.00	6.87
3	0.30	0.58	33.20	7.61
4	0.35	0.58	25.60	8.36



## Il Tempo di Riverberazione



in questo range le misure sono poco attendibili perché effettuate con un sistema che arriva fino a 80 Hz.

- A. I risultati ottenuti dopo il trattamento di correzione acustica sono vicini al limite superiore del nostro range (sotto la cupola abbiamo valori @ 500 Hz di circa 2,5 s, l'unica eccezione è rappresentata dal punto di misura vicino alla porta che risentiva anche del fatto che il vano porta era aperto e quindi si apprezzava particolarmente la riverberazione proveniente dagli ambienti esterni).
- B. Va inoltre considerato che abbiamo misurato a sala vuota, senza né i fedeli né le panche, le sedute e gli arredi, quindi il risultato ottenuto sarà perfettamente in linea con i risultati simulati al CAD acustico (circa 1,8 ÷ 2,2 s @ 500 Hz).
- C. La colorazione della riverberazione tra l'altro è molto più naturale, con un buon bilanciamento tra frequenze medie e alte, mentre prima della correzione avevamo il massimo dell'energia sonora alle medio basse frequenze, che erano per la loro lunghezza d'onda quelle più enfatizzate dall'effetto "focalizzazione" della cupola, mentre le alte venivano smorzate e quindi ne risentiva l'intelligibilità del parlato.



controcupola e impianto audio JBL



intonaco fonoassorbente diasen

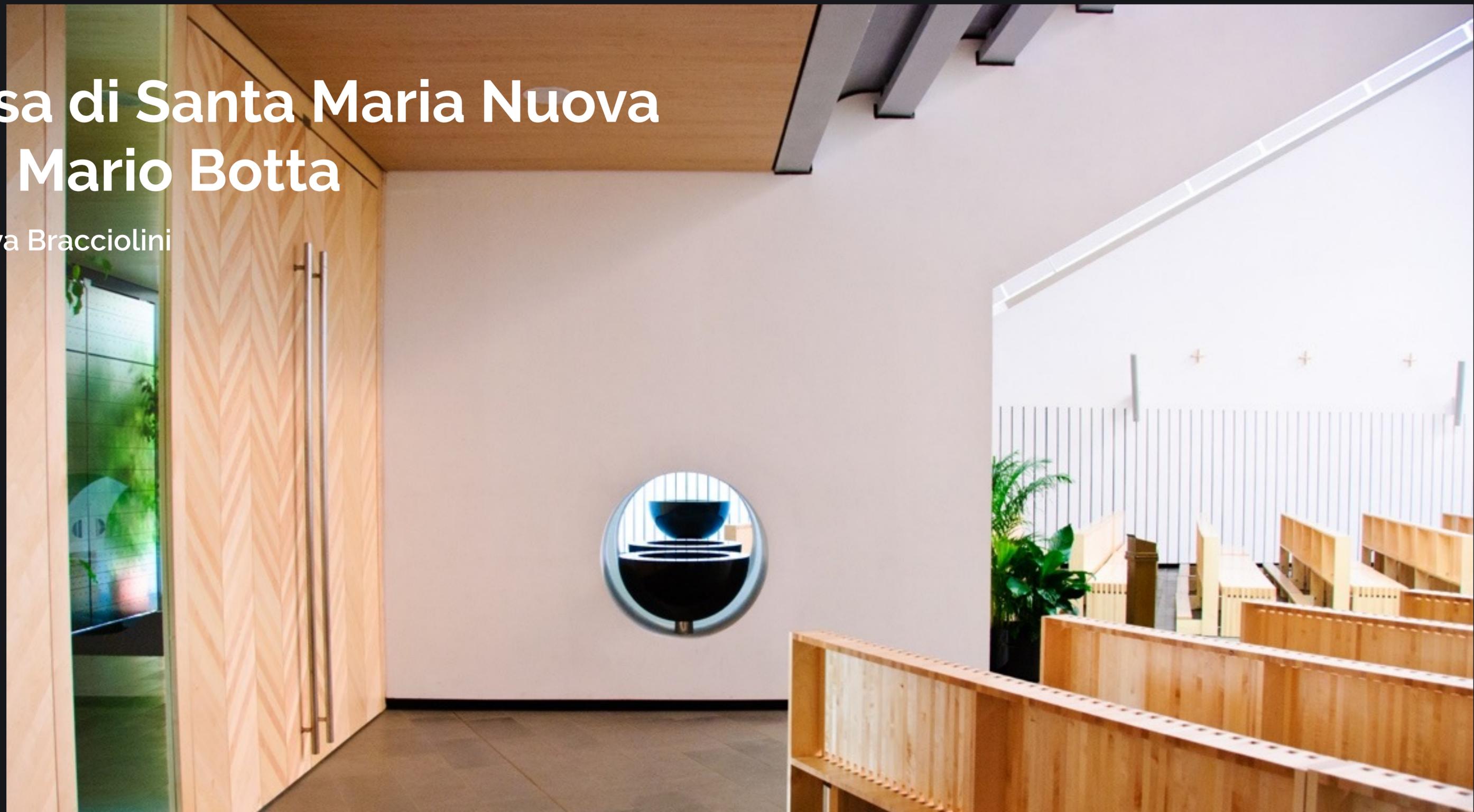
# Parrocchia Ospedaliera San Gerardo

Monza



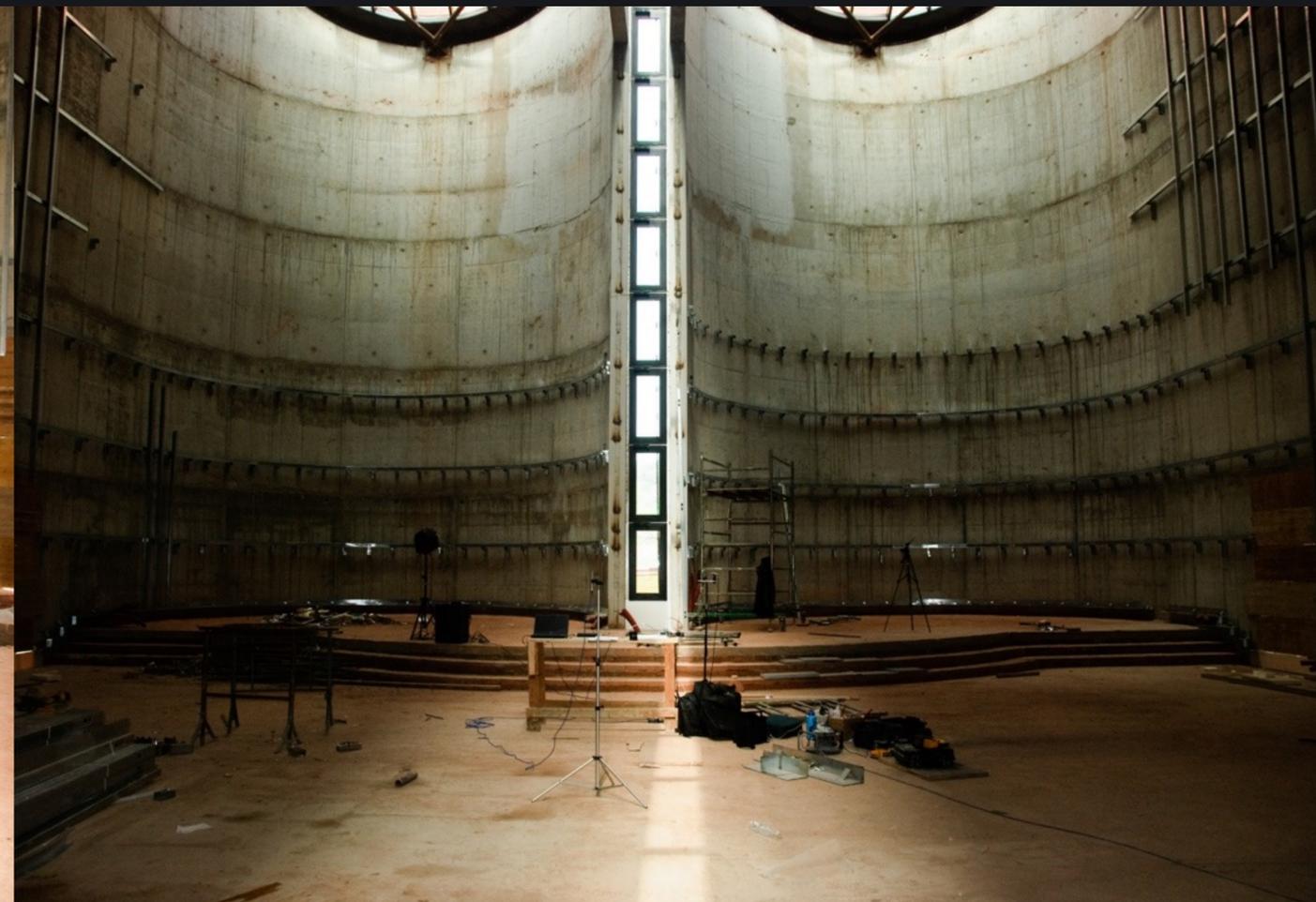
# Chiesa di Santa Maria Nuova arch. Mario Botta

Terranuova Bracciolini



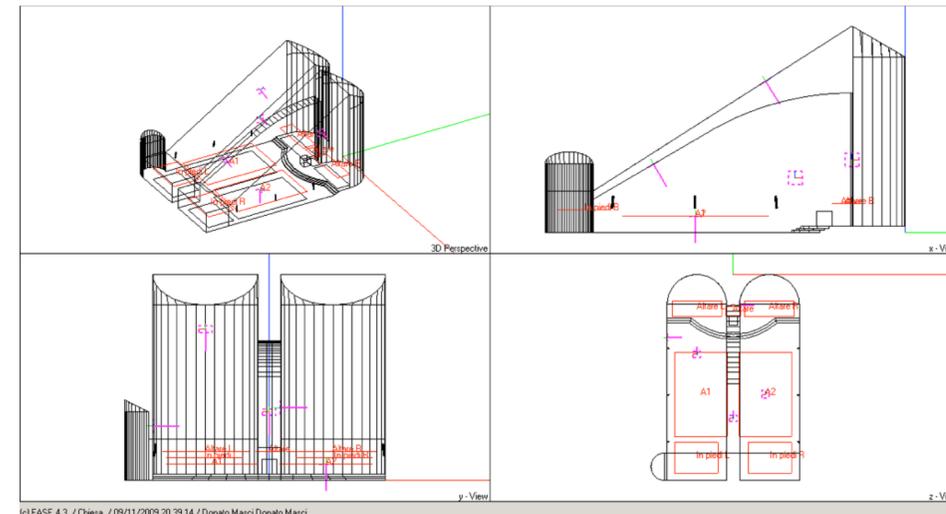
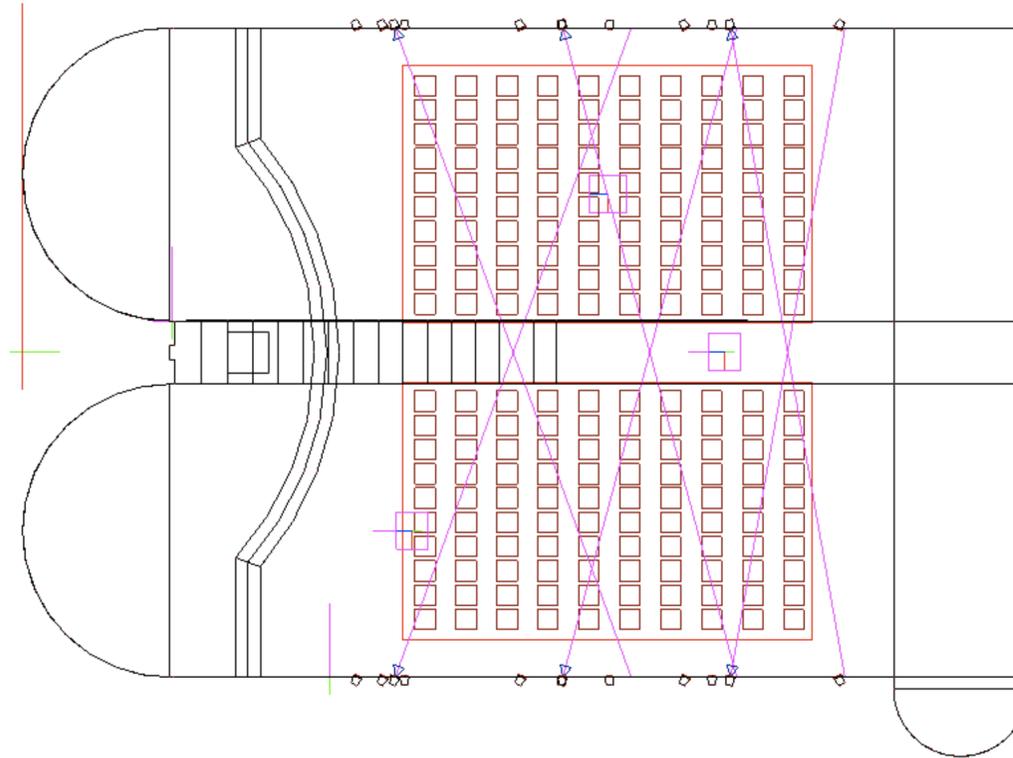
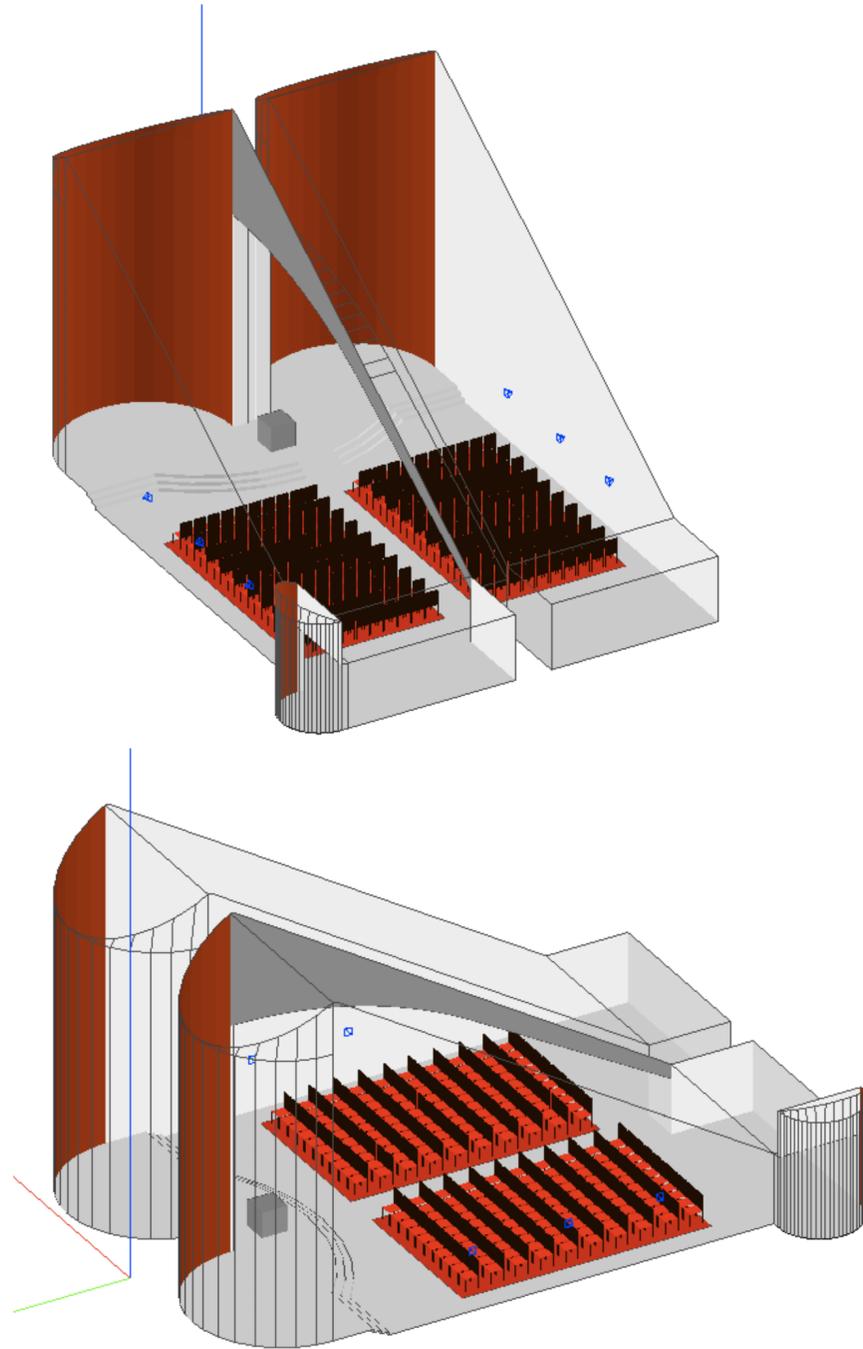


misure preliminari a sala completamente vuota

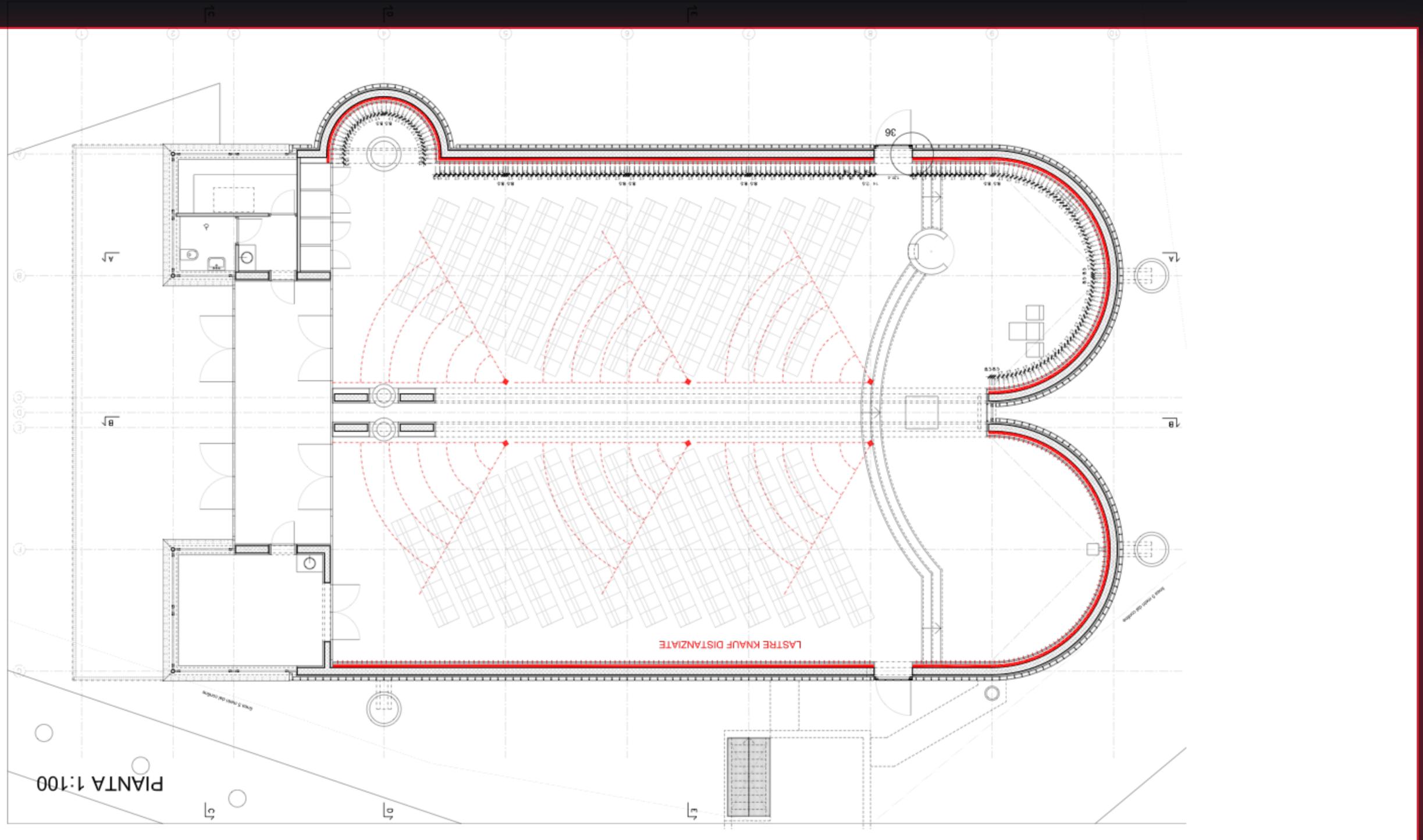


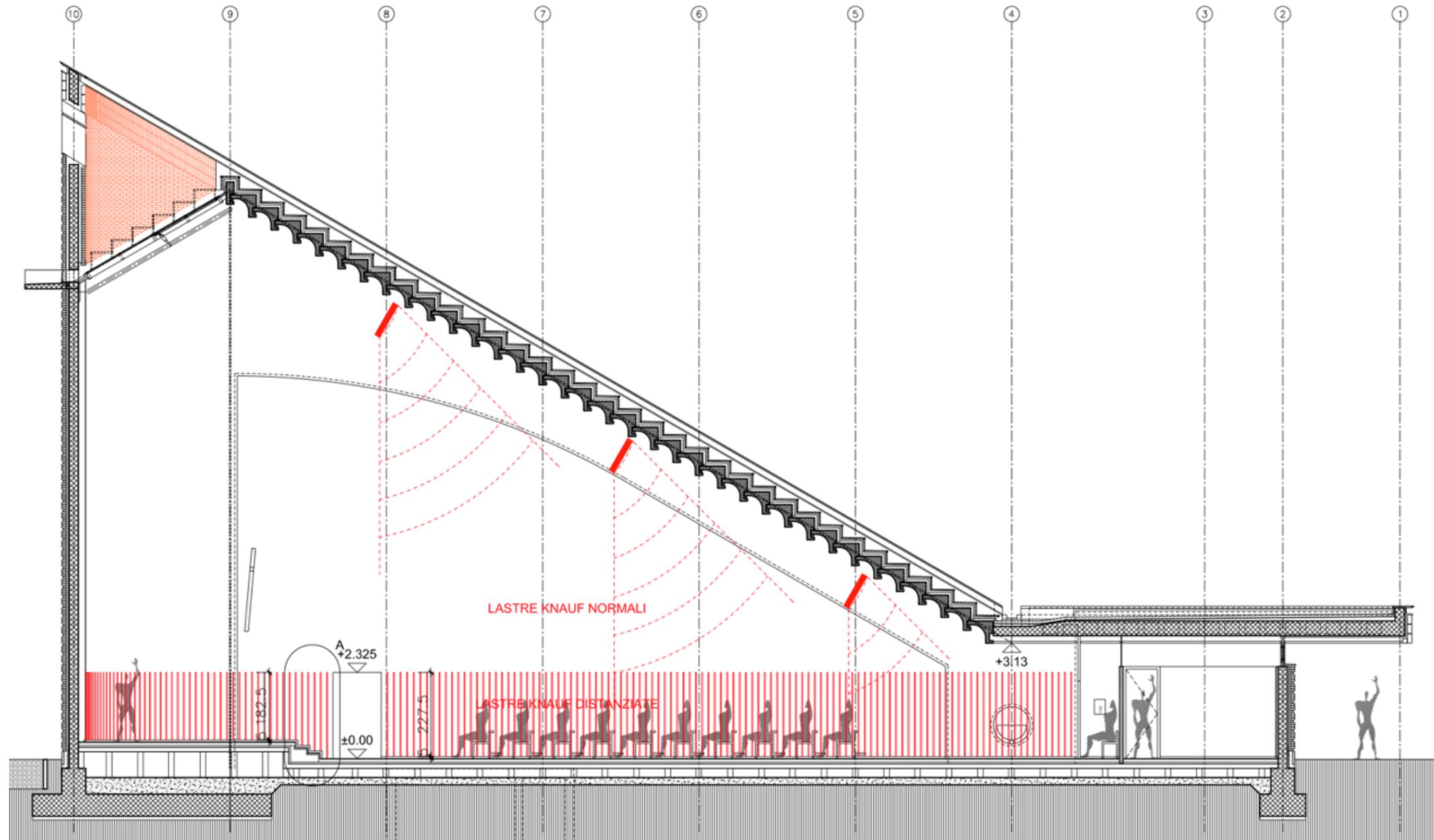
fenomeni di focalizzazione delle volte, strano fenomeno del soffitto



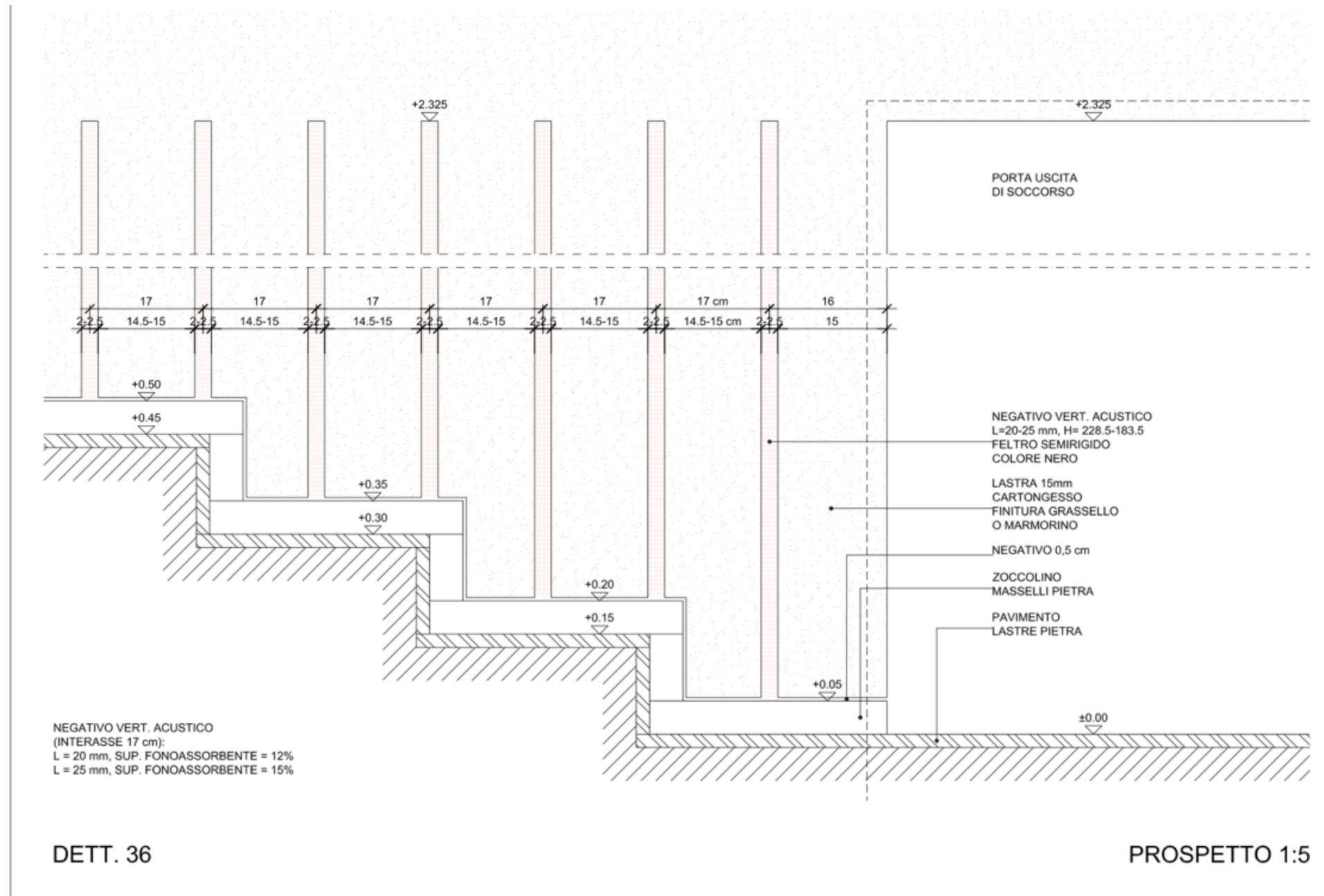


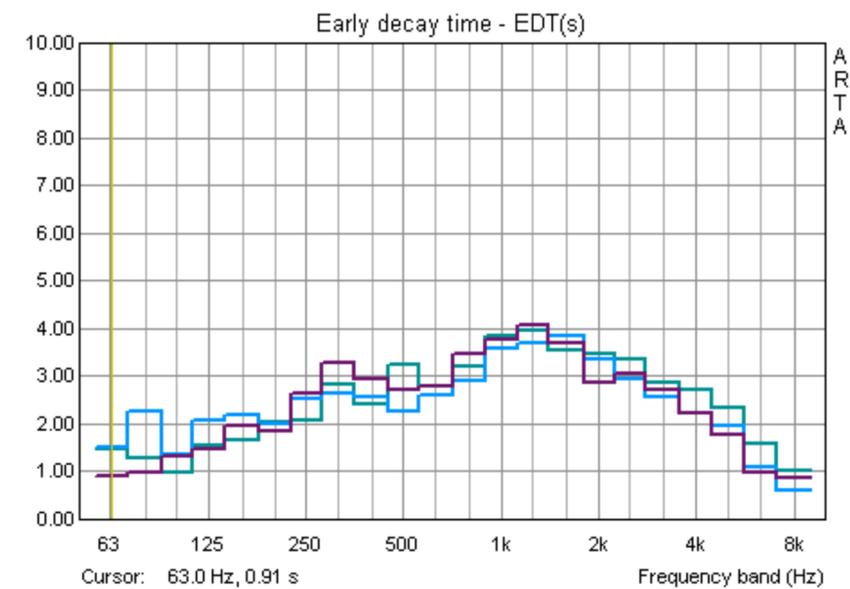
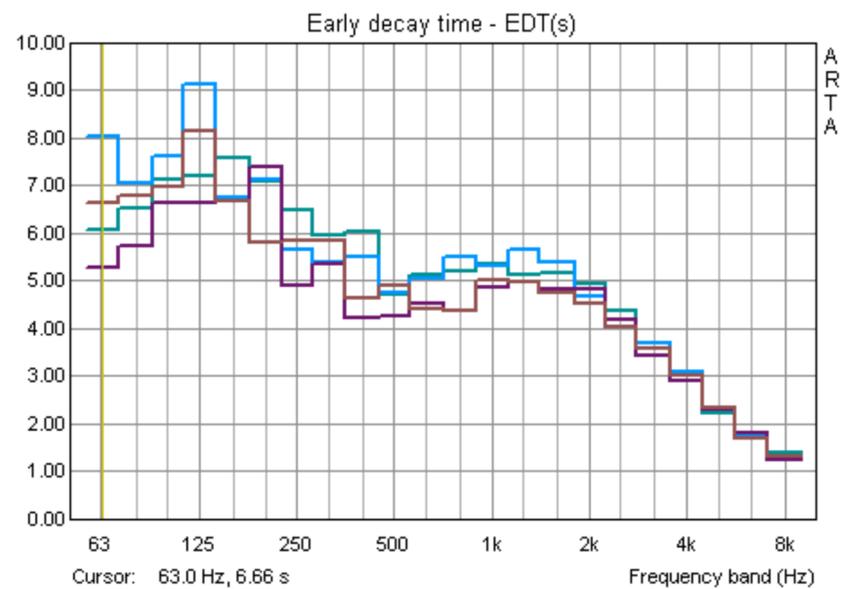
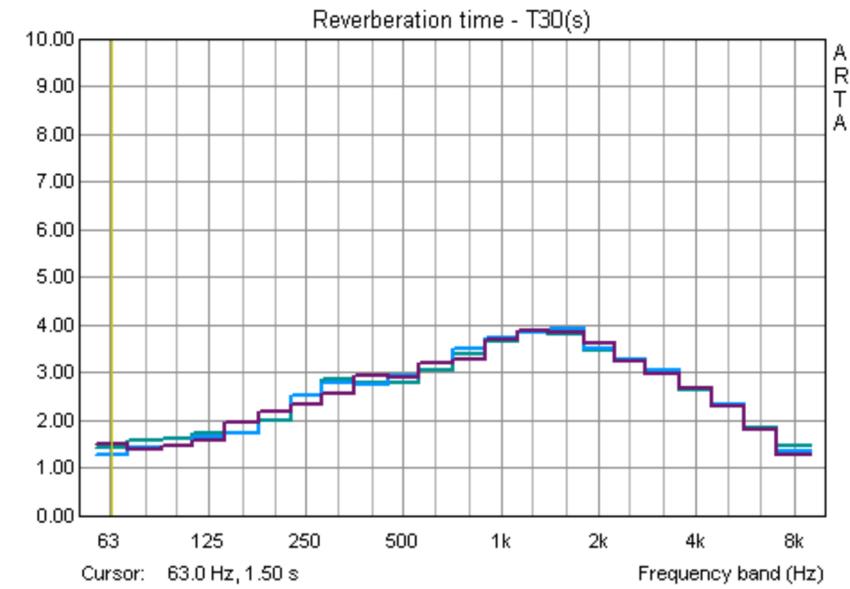
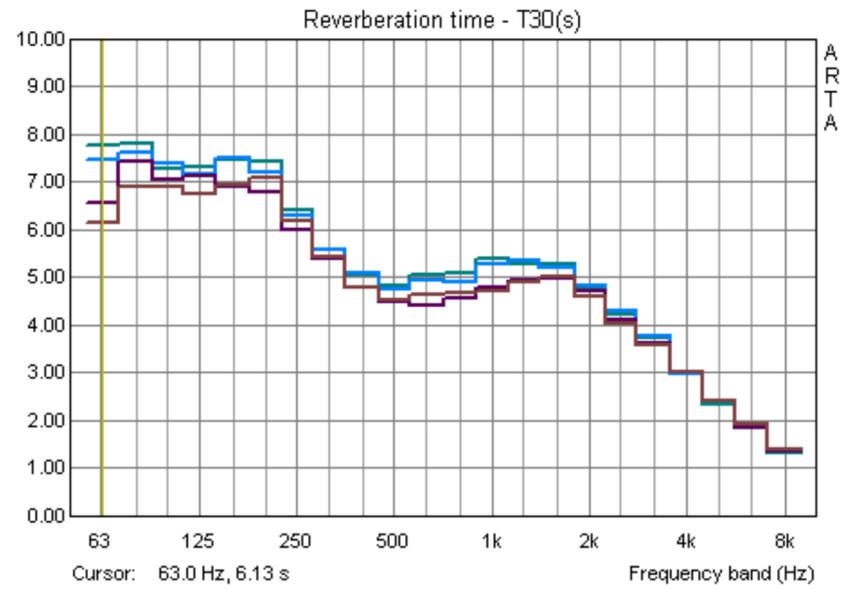
©EASE 4.3 / Chiesa / 09/11/2009 20:39:14 / Donato Masci Donato Masci











parametro	STI - Intelligibilità del parlato <i>(i diversi istogrammi sullo stesso grafico sono relativi a punti di misura differenti)</i>			
	Misura <i>ante-operam</i> prima del trattamento acustico	<b>Voce Maschile</b>	0.28	0.31
	<b>Voce Femminile</b>	0.30	0.32	0.32
	<b>Rating</b>	BAD	BAD	BAD
Misura <i>post-operam</i> (27 Ottobre 2010) con il dodecaedro, senza pubblico	<b>Voce Maschile</b>	0.41	0.34	0.38
	<b>Voce Femminile</b>	0.41	0.34	0.38
	<b>Rating</b>	POOR	POOR	POOR
Misura <i>post-operam</i> (27 Ottobre 2010) con l'impianto audio della chiesa, senza pubblico	<b>Voce Maschile</b>	0.52	0.54	0.57
	<b>Voce Femminile</b>	0.53	0.55	0.58
	<b>Rating</b>	FAIR	FAIR	FAIR



stecche laterali e impianto audio JBL



Topakustik sul soffitto della parete di fondo



STUDIO  
SOUND  
SERVICE

# Grazie

Download presentazione

[studiosoundservice.com/it/education](https://studiosoundservice.com/it/education)

Contatti

[info@studiosoundservice.com](mailto:info@studiosoundservice.com)

[studiosoundservice.com](https://studiosoundservice.com)

## Bibliografia

- Donato Masci: "Parametri Fisici dell'Acustica Ambientale" tesi di Laurea in Fisica;
- Laura Meucci: "Sistemi di sicurezza EVAC di Segnalazione vocale per l'evacuazione di grandi ambienti: progettazione, messa in funzione e collaudo (con il metodo STI), in ambito acustico, relativi ad alcuni studi e progetti in corso d'opera" Tesi di laurea in Ingegneria Ambientale;
- Acustica delle Sale: dalla progettazione alla verifica (Scuola di Acustica di Ferrara, Università di Ferrara);
- CIRCOLARE MINISTERIALE n.1769 del 30/04/1966;
- CIRCOLARE MINISTERIALE n.3150 del 22/05/1967;
- L. Busa, G. Cellai, S. Secchi: "Isolamento acustico di facciata delle scuole risultati sperimentali e proposta di criteri di intervento" AIA 42° convegno nazionale 16-17 Luglio 2015;
- Angelo Farina: "La caratterizzazione acustica delle sale da spettacolo con particolare attenzione alle esigenze di ascolto della musica sinfonica" Tesi di Dottorato di Ricerca in Fisica Tecnica;
- Angelo Farina: "Simultaneous measurement of impulse response and distortion with a swept-sine technique", 110th AES Convention, February 2000;
- David Griesinger: "Beyond MLS - Occupied Hall Measurement With FFT Techniques" - 101st AES Convention, Nov 1996;
- DM 18/12/75 "Norme tecniche aggiornate relative all'edilizia scolastica, ivi compresi gli indici di funzionalità didattica, edilizia ed urbanistica, da osservarsi nella esecuzione di opere di edilizia scolastica";
- DPR 30 marzo 2004, n. 142 "Disposizioni per il contenimento e la prevenzione dell'inquinamento acustico derivante dal traffico veicolare";
- UNI 11367 "Classificazione acustica delle unità immobiliari";
- ISO 3382 - 1 - "Performance spaces";
- DPCM 05/12/97 "Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici";
- M.I.U.R. "Linee guida per le architetture interne delle scuole";
- David Egan: "Architectural Acoustics";
- Leo Beranek: "Concert Halls and Opera Houses - Music, Acoustics, and Architecture" 2nd ed.;
- L.E. Kinsler: "Fundamentals of Acoustics" 4th ed.;
- Yoichi Ando: "Architectural Acoustics";
- Yoichi Ando: "Concert halls Acoustics";
- T.J. Cox, P. D'Antonio: "Acoustic Absorbers and Diffusers - Theory, design and application" 2nd ed.;
- Marshall Long: "Architectural Acoustics";
- Alton Everest: "The Master Handbook of Acoustics" 4th ed.