

*Acoustic* design

iSound 11/03/2010

Progettazione degli  
studi di registrazione

Dott. Donato Masci  
[info@acousticdesign.it](mailto:info@acousticdesign.it)

# Schema della presentazione

1. Introduzione, presentazione attività
2. Cosa vuol dire “progettare uno studio di registrazione”
3. Organizzazione di uno studio di registrazione
4. Analisi acustica di uno studio di registrazione
5. Dispositivi di correzione acustica
6. Alcuni studi di registrazione

# Presentazione

# Acoustic design

[www.acousticdesign.it](http://www.acousticdesign.it)

The screenshot shows the homepage of the Acoustic Design website. At the top left is the logo 'Acoustic design' in a mix of script and sans-serif fonts. To its right is a navigation bar with the text 'progettazione e consulenza acustica' and a small image of a piano in a room. Below this is a main menu with items: Home, Info e Contatti -, Progettazione -, Consulenza, Misurazioni Acustiche e Collaudi, Didattica -, and Portfolio. A secondary menu below that lists: Chiese, Radio, Sale da Conferenza, Studi di Registrazione, and Teatri. The main content area features a carousel of five project images with captions: 'Radio Toscan...', 'Internationa...', 'Studio Storn...', 'Auditorium d...', and 'Santuario di...'. Below the carousel are two columns of 'recenti progetti di studi di registrazione' and 'recenti progetti di teatri'. The first project listed is 'International Sound, Conversano (BA)', described as a recording studio with wood paneling and a 5+1 room. The second is 'Auditorium di Maria Theotokos, Loppiano', a 1200-seat multifunctional hall. To the right of these columns is a 'Chi siamo' section with a 'News' link, containing a paragraph about the company's services and a list of staff members: Fabrizio Giovanzozzi (acoustic and electronic engineer), Donato Masci (acoustic physicist), and Luca Tommasi (acoustic technician).

# Progettazioni acustiche

- Studio di registrazione
- Teatro
- Chiesa
- Auditorium
- Studi radio/televisivi
- Consulenze in acustica per l'edilizia



# Portfolio

## Giovannozzi - Acoustic Design

- Bocelli, Ramazzotti, Ligabue, Litfiba, Venditti, Mogol
- Grandi strutture come il Larione 10, International Sound Conversano etc. per un totale di circa 200 studi di registrazione in Italia
- Studi Televisivi e regie Mediaset (Matrix, Striscia la notizia, Nomentano, Palatino)
- Chiesa e Teatro di Santa Maria Theotokos, Loppiano, nuova chiesa di Terranuova Bracciolini (Arch. Mario Botta)
- Teatro del Popolo di Colle Val D'Elsa, Teatro del Popolo Castelfiorentino, Teatro dei Risorti Buonconvento, Politeama Poggibonsi, nuovo Teatro Bucci San Giovanni Valdarno, nuovo Teatro Boccaccio Certaldo

# *Acoustic* design

Cosa vuol dire  
“progettare uno studio di  
registrazione”

# Elementi legati alla progettazione

1. Design della struttura
2. Isolamento acustico (tra sala e sala e tra sala ed esterno)
3. Ottimizzazione acustica dell'interno
4. Consulenza per impianto areazione
5. Consulenza per impianto elettrico
6. Cablaggio audio

# I. Design della struttura

- Consulenza per la scelta del locale
- Disegni preliminari
- Ottimizzazione dei disegni sulla base delle necessità del committente
- Integrazione nel disegno di arredamenti ed attrezzatura audio-video-musicale

# 2. Isolamento acustico

- Pareti
- Soffitto
- Pavimento
- Porte
- Vetri
- Valutazione del tipo di isolamento necessario
- Scelta materiali
- Posa in opera
- Progetti per porte
- Progetti per vetri

# 3. Ottimizzazione acustica

- Stima a priori dei parametri acustici della sala (CAD acustico, formule e modelli)
- Calcolo delle frequenze modali e analisi di possibili criticità
- Ideazione di dispositivi di correzione acustica (assorbitori, diffusori) che potrebbero risolvere le criticità e si potrebbero integrare nel disegno

# 4. Consulenza per impianto areazione

- Aereazione silenziosa (velocità dell'aria lenta)
- Integrazione nel disegno dei punti di mandata, ripresa dell'aria
- Fornire all'installatore le specifiche per i silenziatori e per la messa in opera dell'impianto di areazione

# 5. Consulenza per impianto elettrico

- Messa a terra “fatta bene”
- Divisione linee (luci, condizionatori, audio)
- Evitare luci neon, faretti a bassa tensione e altre luci con trasformatori
- Fornire specifiche per eventuali filtri per condizionatori (creano spesso rumori ad alta frequenza 5000÷9000 Hz)

# 6. Consulenza per cablaggio audio

- Tipo di cavo da utilizzare, a seconda della metratura
- Attenzione agli anelli con l'impianto elettrico
- Routing dei segnali e progettazione impianto audio

# *Acoustic* design

## Organizzazione di uno studio di registrazione

# Scelta del locale

- Attenzione all'altezza: un'altezza di 3 metri dopo un'insonorizzazione standard si ridurrà a circa 2,60 m (considerando soffitto e pavimento), che è un'altezza scarsa per uno studio di registrazione.

- Attenzione alle pareti parallele.

si cerca di non lavorare in stanze con pareti perfettamente parallele perché in queste si favorisce la produzione di onde stazionarie.

- Attenzione alla geometria della stanza e alle dimensioni (evitare stanze cubiche!).

le finestre è meglio che non siano in alcuni punti tipo il fronte della regia

- Attenzione alle finestre e alla loro dislocazione.

- Attenzione alle murature già esistenti

il conglomerato favorisce l'isolamento, e si possono creare facilmente contropareti su di esse. Se si hanno invece mura di cemento armato è meglio tenersi staccati

# Disegno preliminare

1. Capire dove piazzare la regia e di che dimensioni deve essere (stereo, 5.1 etc)
2. Capire il tipo di sala di ripresa da fare e incastrarla in modo intelligente con la regia
3. Cercare di adattare lo spazio rimanente per creare altri locali di servizio (iso-booth, sala macchine, magazzini)

# La Regia

control-room



La regia ha un punto di  
ascolto privilegiato:  
quello dell'operatore

# Disposizione delle casse

Comitati tecnici per standardizzare specifiche:

AES (Audio Engineering Society)  
German Surround Sound Forum  
ITU (International Telecommunication Union)

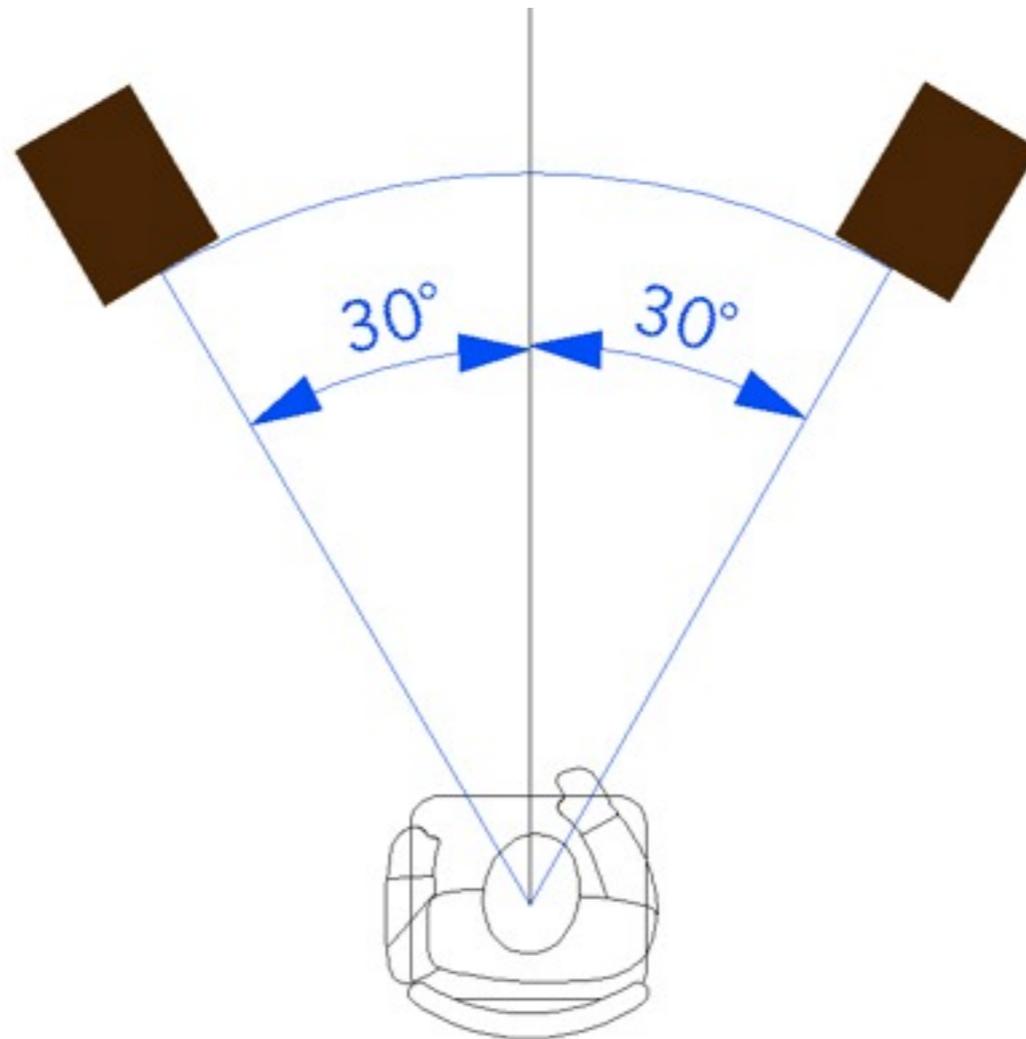
Raccomandazioni per la riproduzione surround:

ITU-R BS 775-1 *“Multichannel stereophonic sound system with and without accompanying picture”* (Geneva, 1992-94)

ITU-R BS 1116-1 *“Methods for the subjective assessment of small impairments in audio systems including multichannel sound systems”* (Geneva, 1994-97)

# STEREO

Molti lavori di ricerca sono stati fatti negli ultimi 50 anni per determinare il migliore angolo di posizione di due altoparlanti riproducenti materiale stereo.



Per riprodurre un centro mono virtuale l'angolazione migliore è  $60^\circ$ .

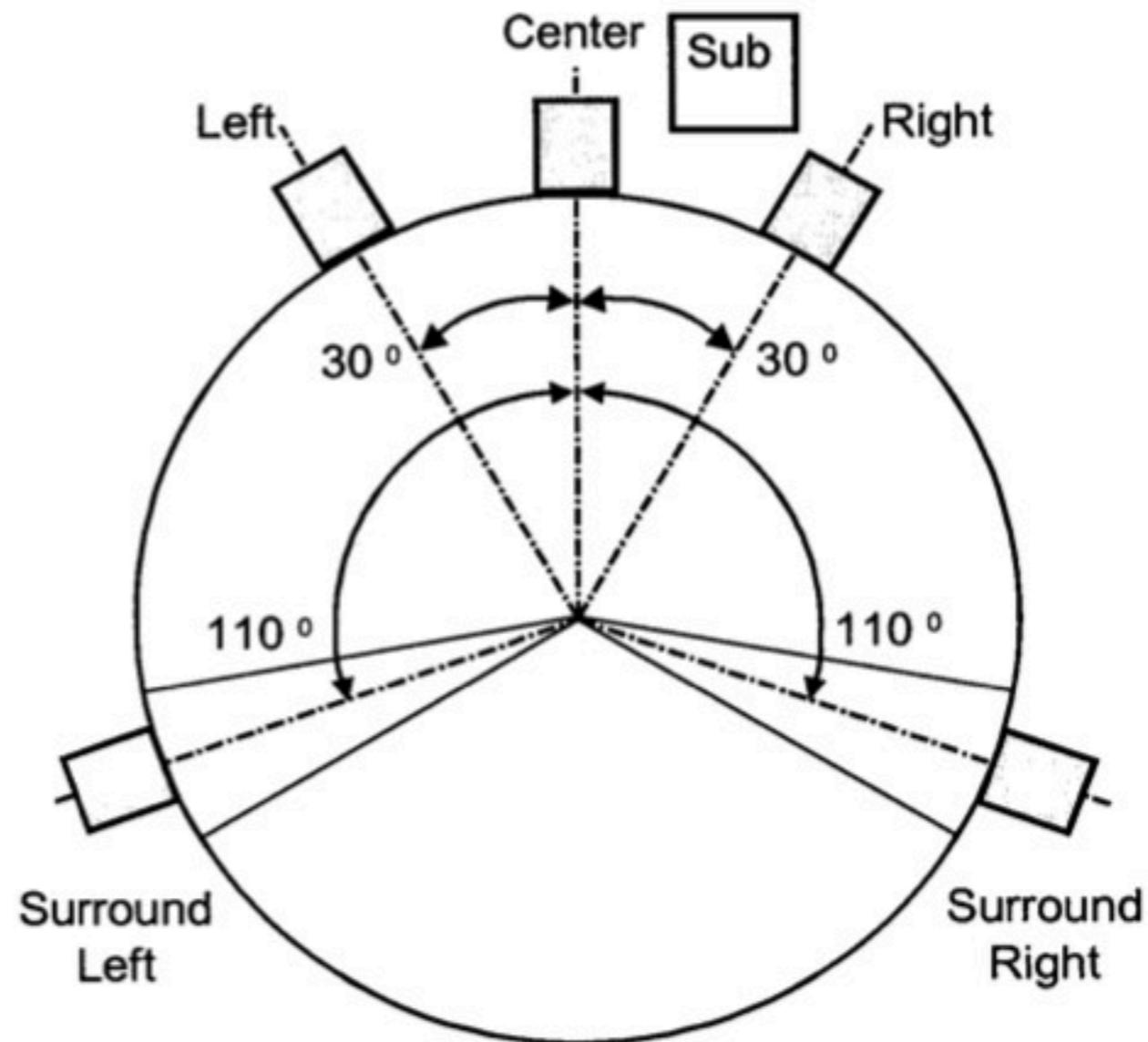
# Multi canale 5.1

## Specifiche ITU-R BS 775-1

La risoluzione del sistema orecchio/cervello è di circa 3 gradi sopra l'orizzonte d'ascolto delle orecchie e da 3 a 10 gradi sotto tale orizzonte.

È fortemente raccomandato che gli altoparlanti siano collocati ad uguale distanza dalla posizione d'ascolto e risultino simmetrici i percorsi acustici rispetto l'ambiente. In altri termini tutte le sorgenti del suono devono avere lo stesso tempo di arrivo nella posizione d'ascolto.

Gli altoparlanti devono quindi essere collocati sui luoghi di un cerchio ideale che ha al centro la testa del fonico.



# Posizionamento sul piano verticale

Il nostro cervello a un'elevata capacità di localizzare informazioni sul piano orizzontale ma non è altrettanto selettivo sul piano verticale.

La posizione e la conformazione delle orecchie ne danno ragione.

Specifiche ITU: Posizione ideale è che per i tre monitor centrali gli assi acustici siano posti alla stessa distanza.

La localizzazione verticale ha una tolleranza di 7 gradi.

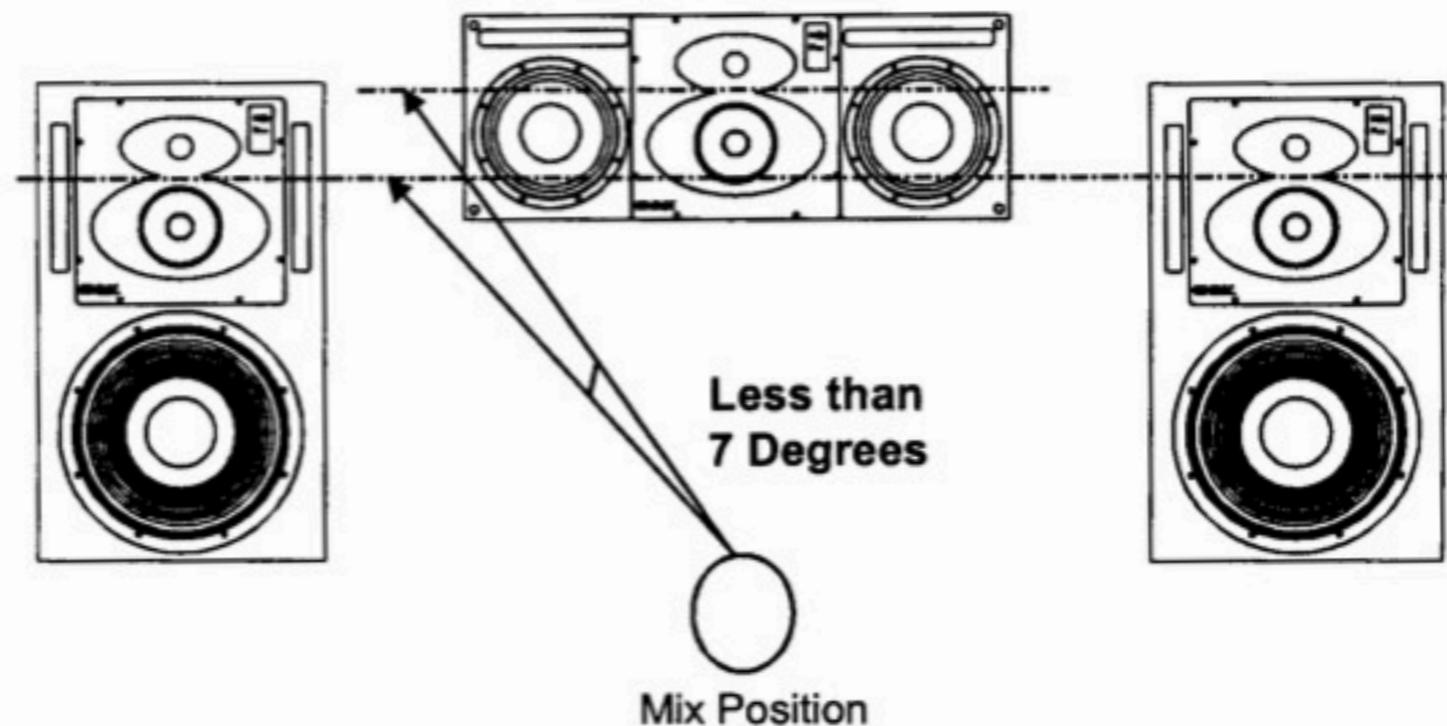


Fig.8: Tolleranza della localizzazione virtuale del sistema orecchio/cervello applicate al posizionamento del monitor.

Entro 7 gradi abbiamo quindi una localizzazione incerta. In altri termini due sorgenti possono essere posizionate con leggere variazioni verticali senza che il cervello noti tale variazione.

Le norme ITU sono rigide per quanto riguarda le altezze dei tre monitor frontali che devono essere alla medesima altezza, ma sono più elastiche per gli altoparlanti surround.

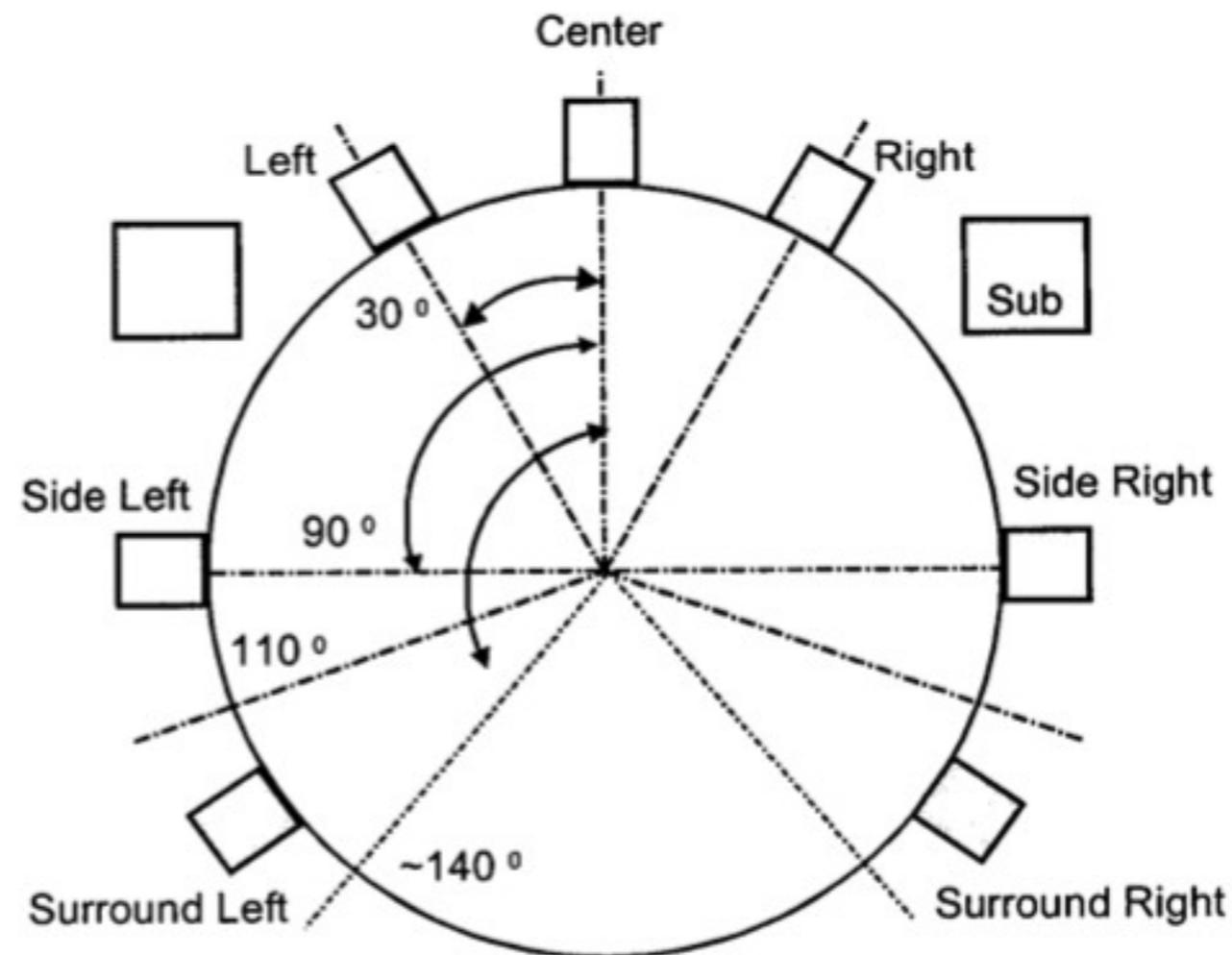
Questi possono essere collocati più in alto dei monitor frontali e inclinati verso il basso, verso la posizione d'ascolto sino ad un angolo di  $15^\circ$

Quando sono impiegati i Big-monitors bisogna tenere conto che l'interazione con il pavimento al di sotto dei 400 Hz può essere un serio problema se gli altoparlanti sono troppo in basso.

Più grandi sono i monitor, più lontano dal pavimento devono essere collocati: viene comunemente impiegata una sovra altezza massima di  $15\div 20^\circ$  rispetto alle orecchie nelle installazioni stereo.

# Posizionamento 7.1

Dolby pro Logic (Blu-ray)



# Posizionamento near-field monitors



- tutti gli altoparlanti devono essere dello stesso tipo
- sebbene sia una pratica diffusa i monitors non dovrebbero essere posti sopra il meter-bridge della consolle
- nei locali piccoli anche i monitor devono essere piccoli e vanno collocati il più possibile a ridosso delle pareti onde evitare le cancellazioni di fase
- nei locali ampi devono stare lontano dalle pareti perché in questo modo migliora il rapporto energetico diretto/riverberante, ma attenzione alle cancellazioni!

# Posizionamento dei main-monitors



- devono essere montati a filoparete per raggiungere la migliore prestazione
- se non fosse possibile, dovranno essere collocati a ridosso di una superficie onde evitare cancellazioni a basse frequenze, ma per i monitor più grandi non è possibile perché la profondità della cassa è abbastanza grande da porre l'altoparlante ad una distanza tale da produrre cancellazioni alle basse

# Posizionamento del subwoofer

- posizionato vicino alla parete frontale e leggermente spostato dalla mezzeria della stanza onde evitare il punto di minima pressione
- in un angolo vicino alla parete frontale e ad una laterale. Questa posizione massimizza l'efficienza per il carico angolare.

# Design della regia

- LEDE (Live End Dead End)
- RFZ (Reflection Free Zone)

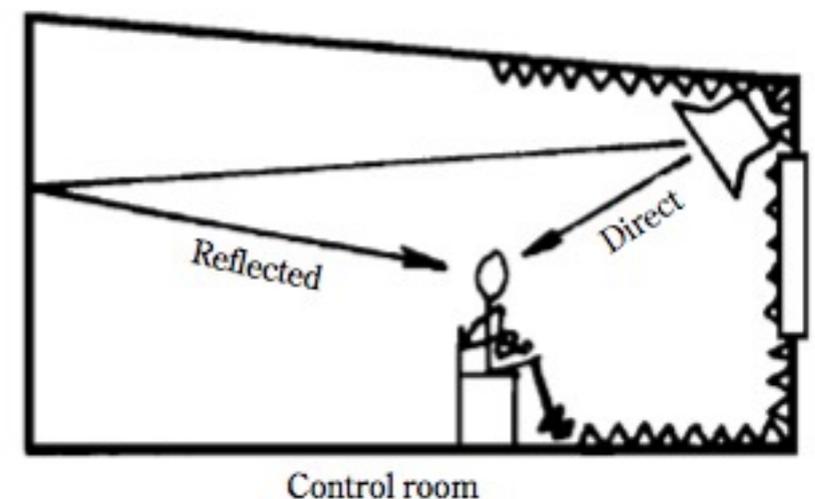
# LEDE

Live End Dead End

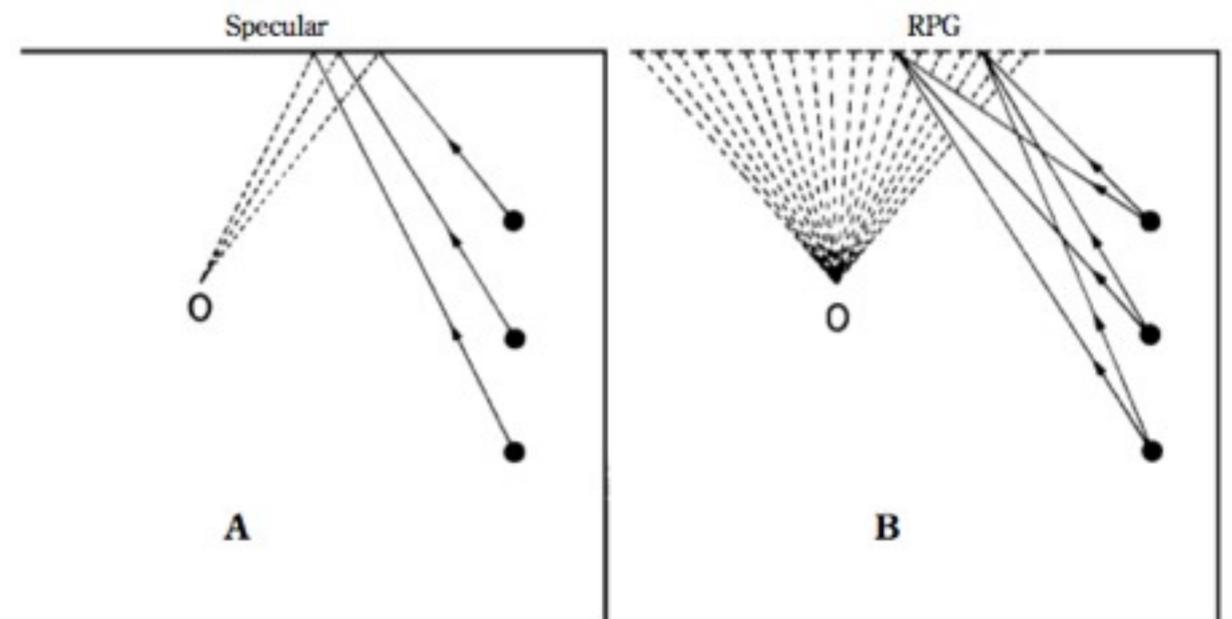
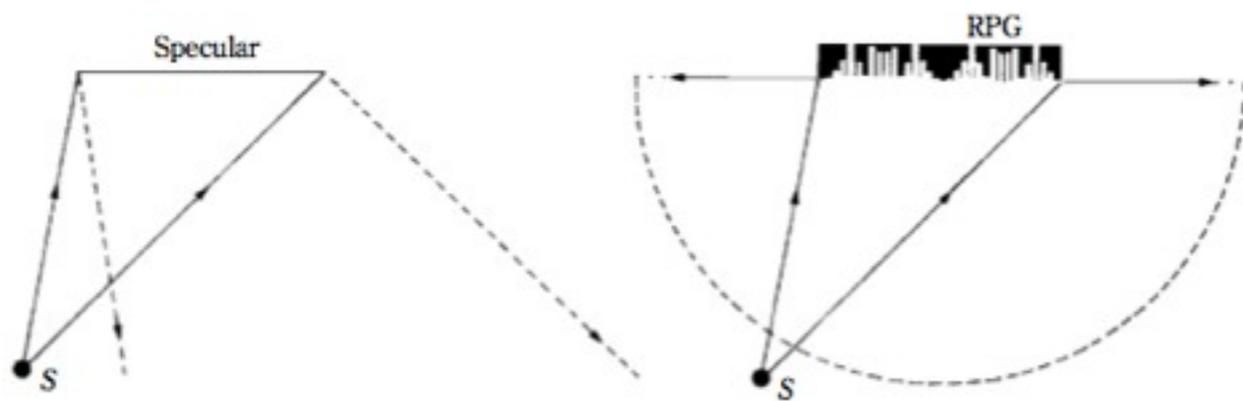
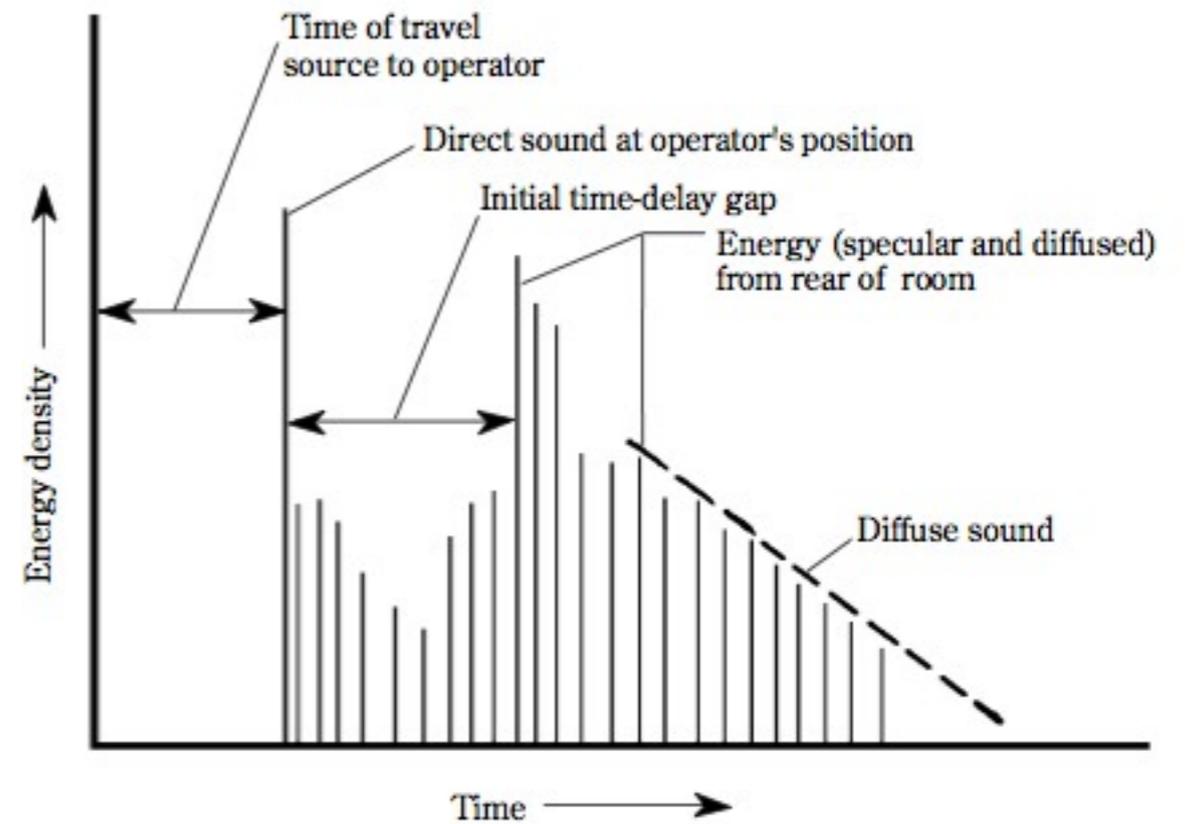
L'idea di questo design parte dall'osservazione sperimentale di Beranek sull'ITDG per le sale.

In uno studio di registrazione l'ITDG è mascherato solitamente dalle prime riflessioni: in questo caso l'operatore verrà privato di una componente importante del suono.

Si monta materiale fonoassorbente sul fronte dello studio dietro alle casse, così per l'operatore la stanza risulterà più grande.



Il suono che giunge però da dietro dovrà essere diffuso per poter avere un decadimento del suono “naturale” (e quindi perfettamente esponenziale o lineare in scala logaritmica)

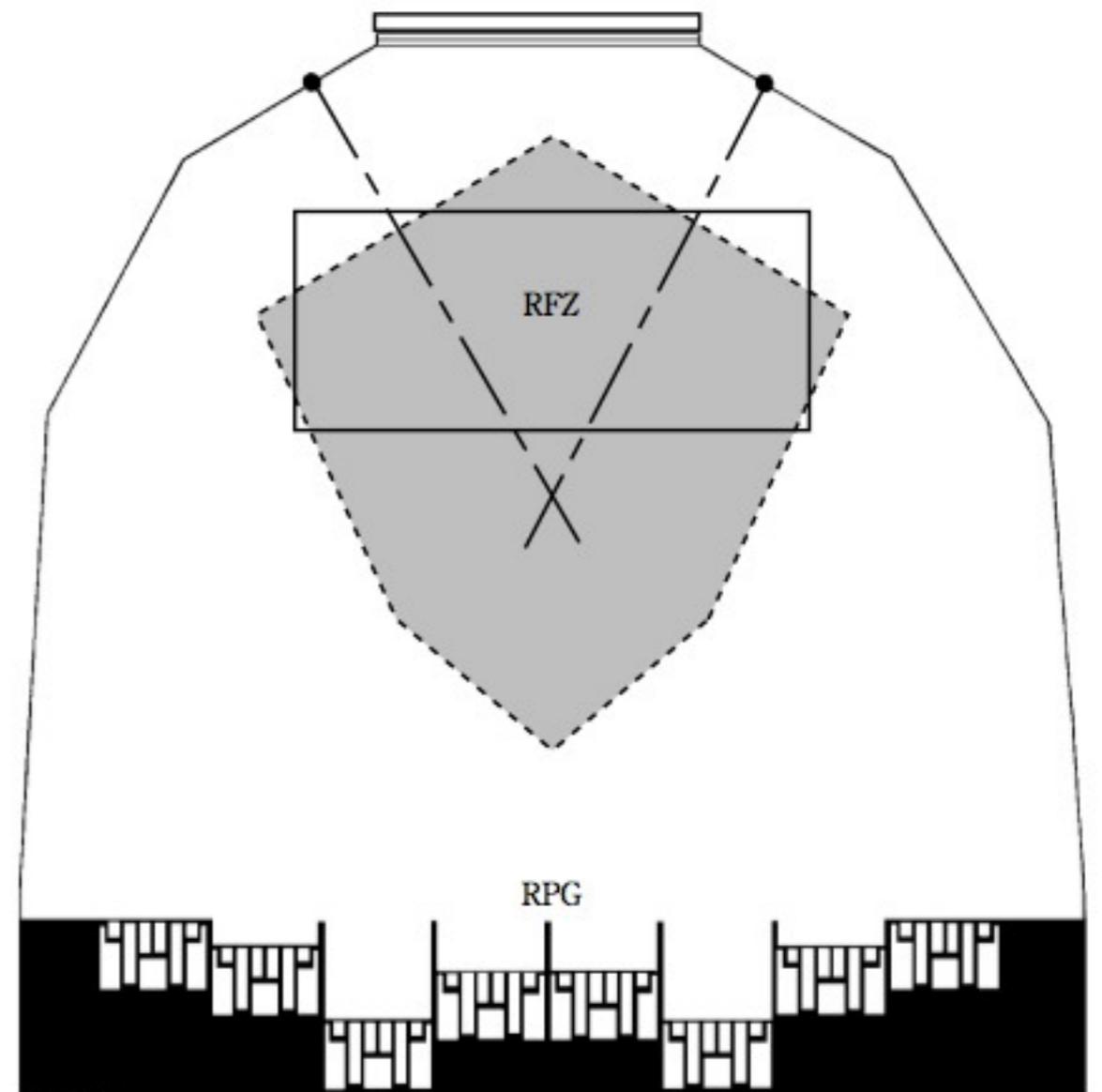
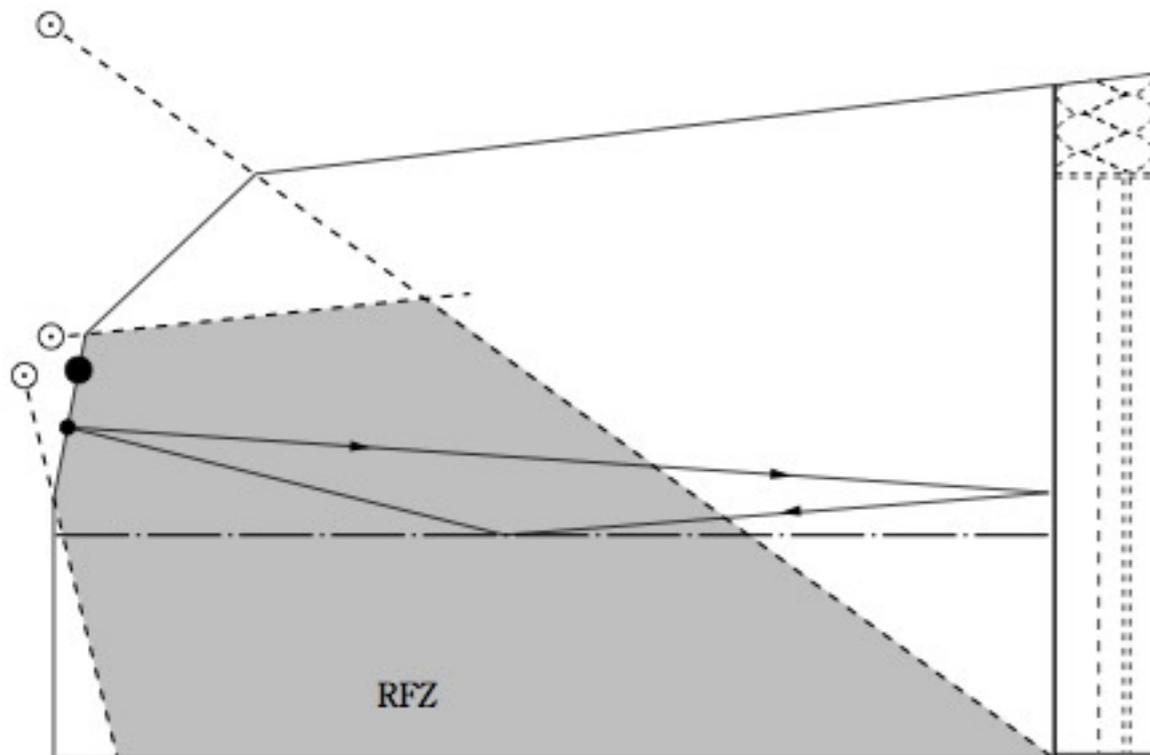


Si introducono i diffusori

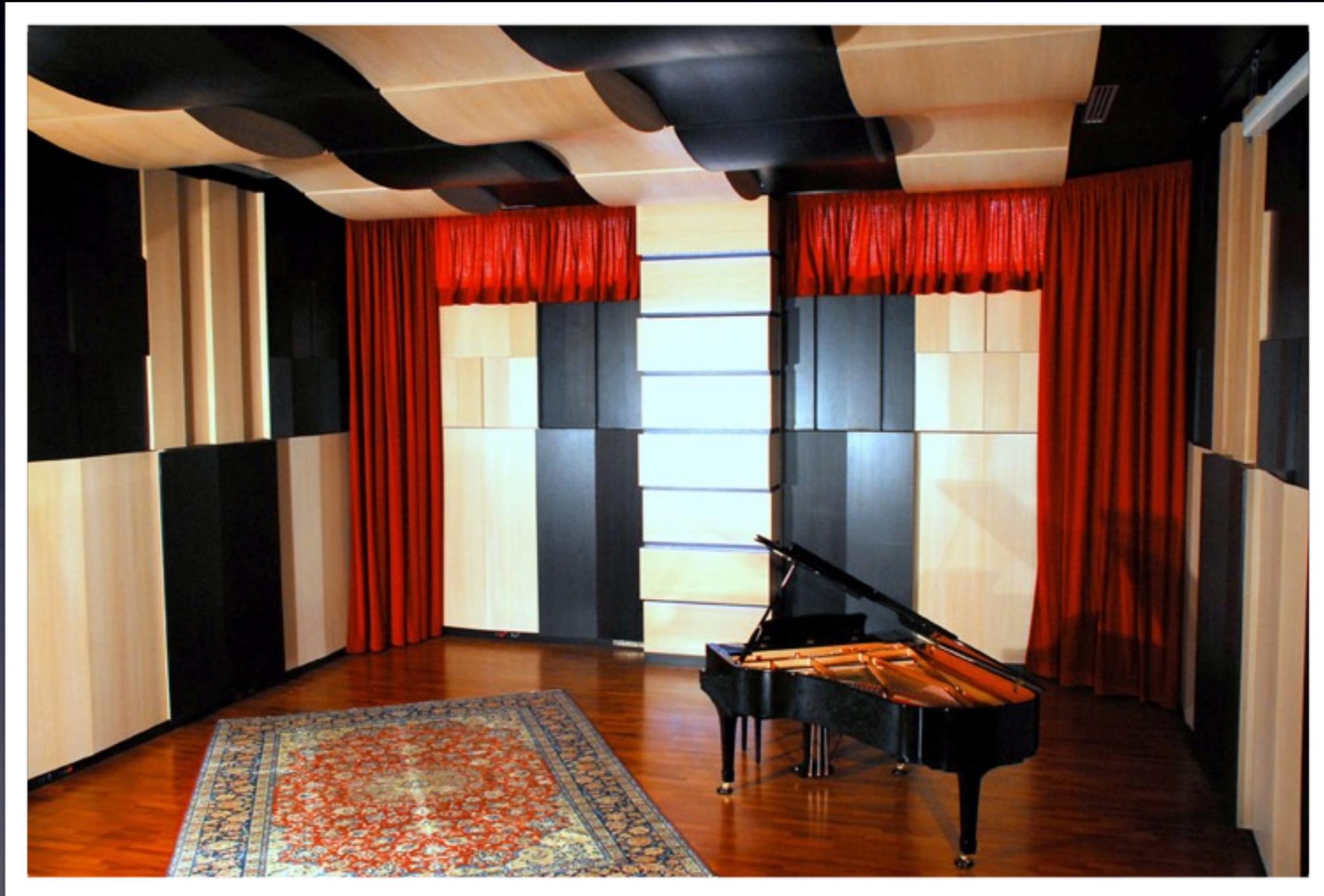
# RFZ

## Reflection Free Zone

Il design RFZ si basa sulla possibilità di eliminare geometricamente i punti di prima riflessione tra casse e ascoltatore, sulla parte frontale.



# La sala di ripresa



La progettazione di una sala di ripresa è molto differente dalla regia.

Intanto non ci sono “design standard” perché le sorgenti sonore non vengono collocate all’interno di essa in modo “standard”.

Bisogna quindi capire il tipo di sorgente, strumento o ensemble che si vuole registrare per progettare una sala di ripresa adatta.

Bisogna controllare il tempo di riverberazione a seconda delle possibilità. Per questo motivo vengono studiati anche sistemi di acustica variabile.

Spesso nello studio si creano più ambienti per la ripresa acustica, con differenti caratteristiche acustiche.

## ISO-BOOTH o VOCAL-BOOTH

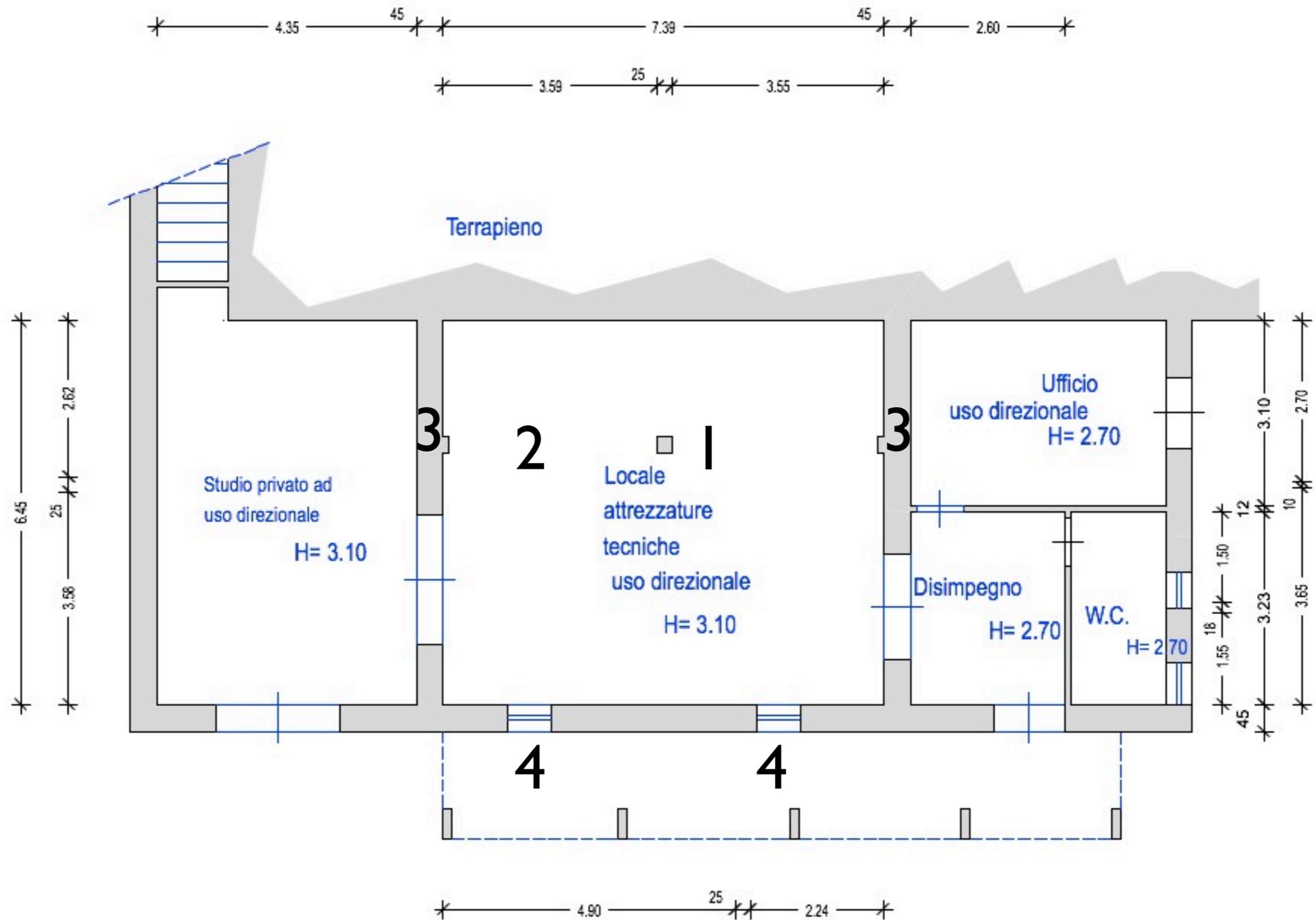
In generale non è bello registrare gli strumenti in ambienti troppo piccoli e/o troppo assorbenti: questo tipo di riprese sono però utili qualora il fonico volesse lavorare a posteriori sull'“ambiente”, aggiungendo ad esempio riverberazione artificiale.

Questo tipo di ripresa viene usata per le camere di doppiaggio o per alcune radio, a volte, oltre che per la voce, anche per registrare le batterie.

# Esempio di progettazione: Studio di Pierpaolo Guerrini (fonico di Bocelli)



# Esempio, studio Guerrini (fonico Bocelli)



# Vincoli:

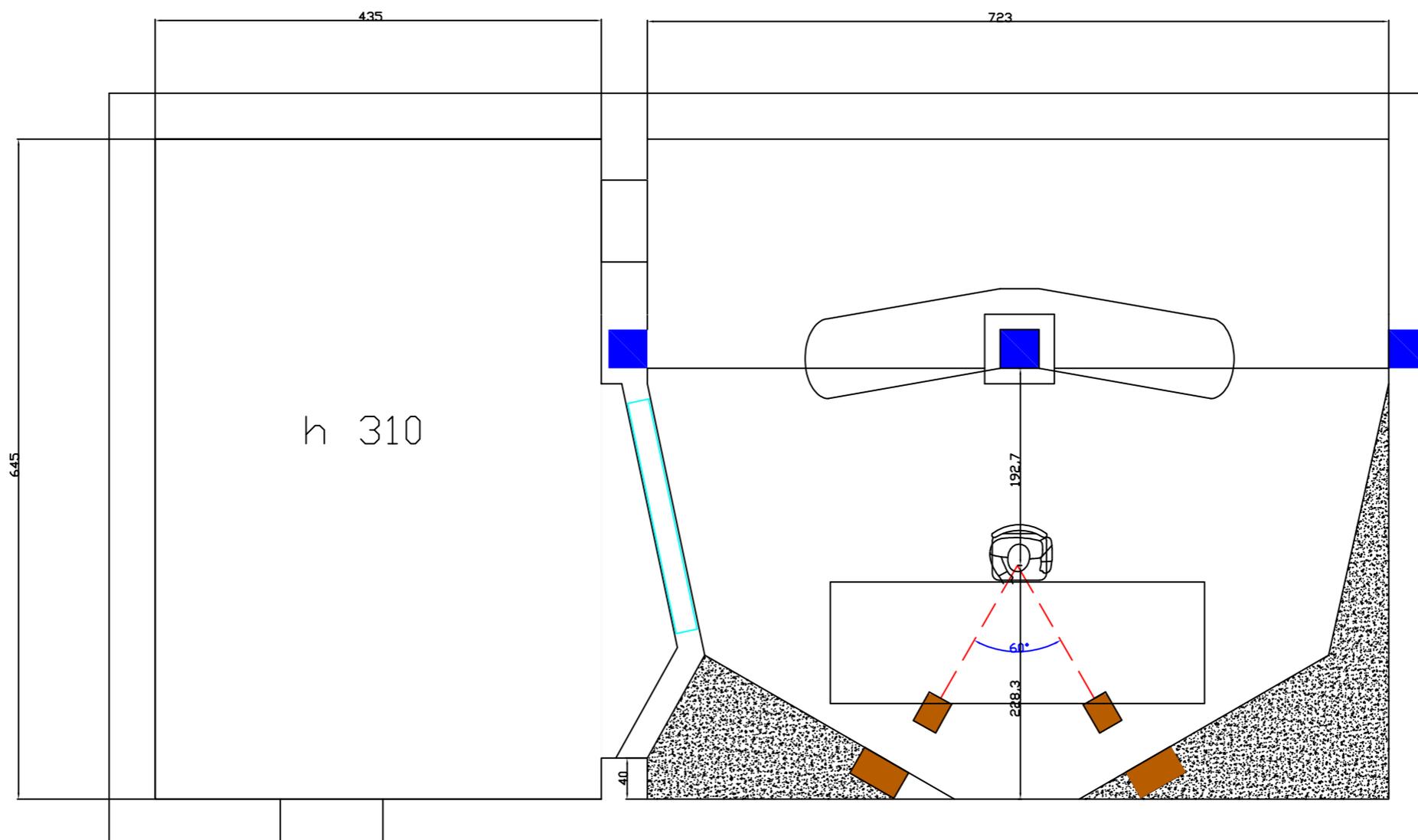
1. Colonna cemento armato
2. Trave cemento armato che corre in basso tra una colonna e l'altra
3. Muri portanti, conglomerato
4. Finestre

# Necessità della regia

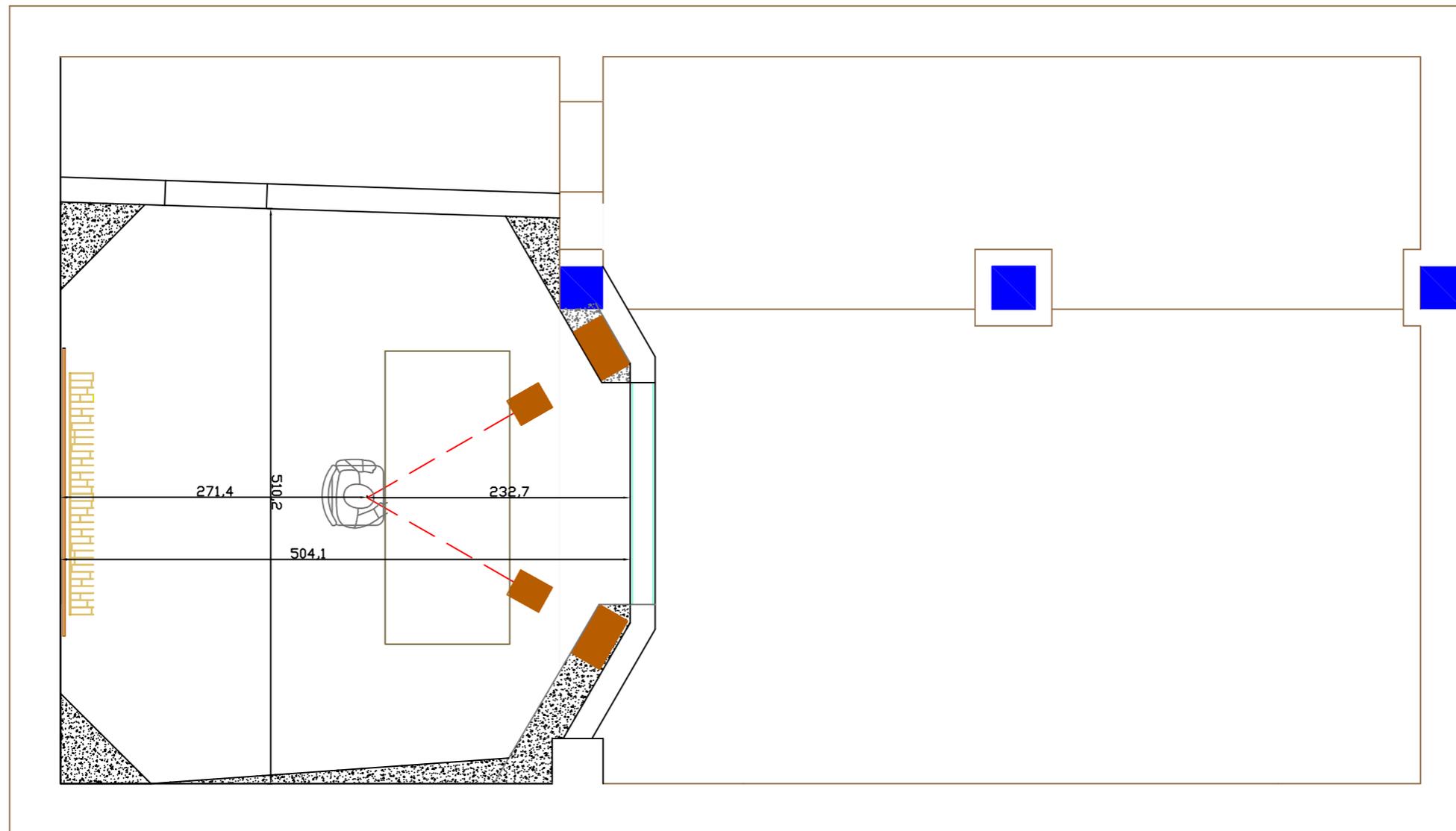
- Banco SSL 4056 serie G  
+Total recall lunghezza 3,46 m, profondità 1,20 m
- Regia con più postazioni di lavoro (editing e compositing)
- Main Monitors (Genelec 1039a)
- Mantenere finestre (aperture)



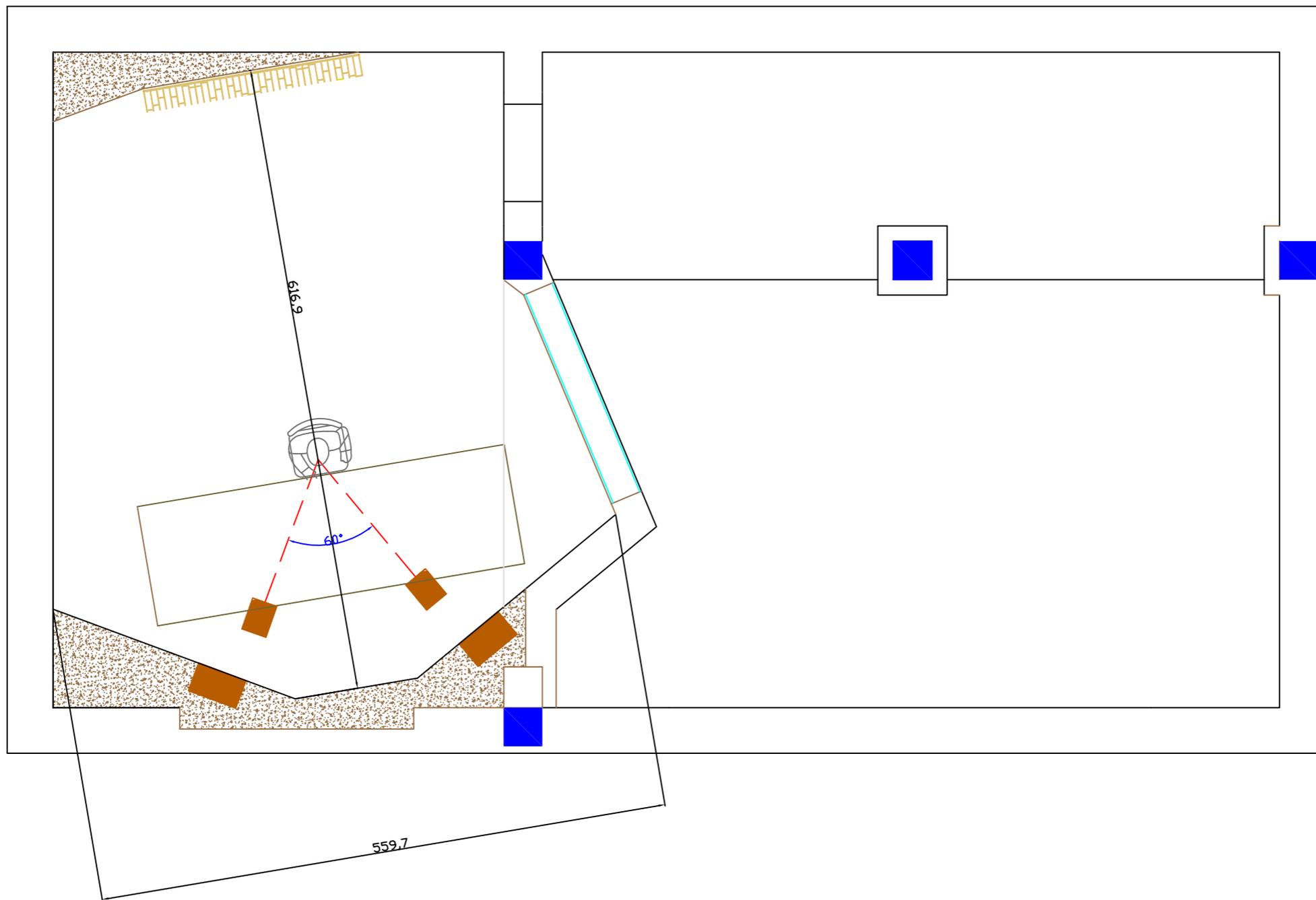
# Regia I



# Regia 2



# Regia 3





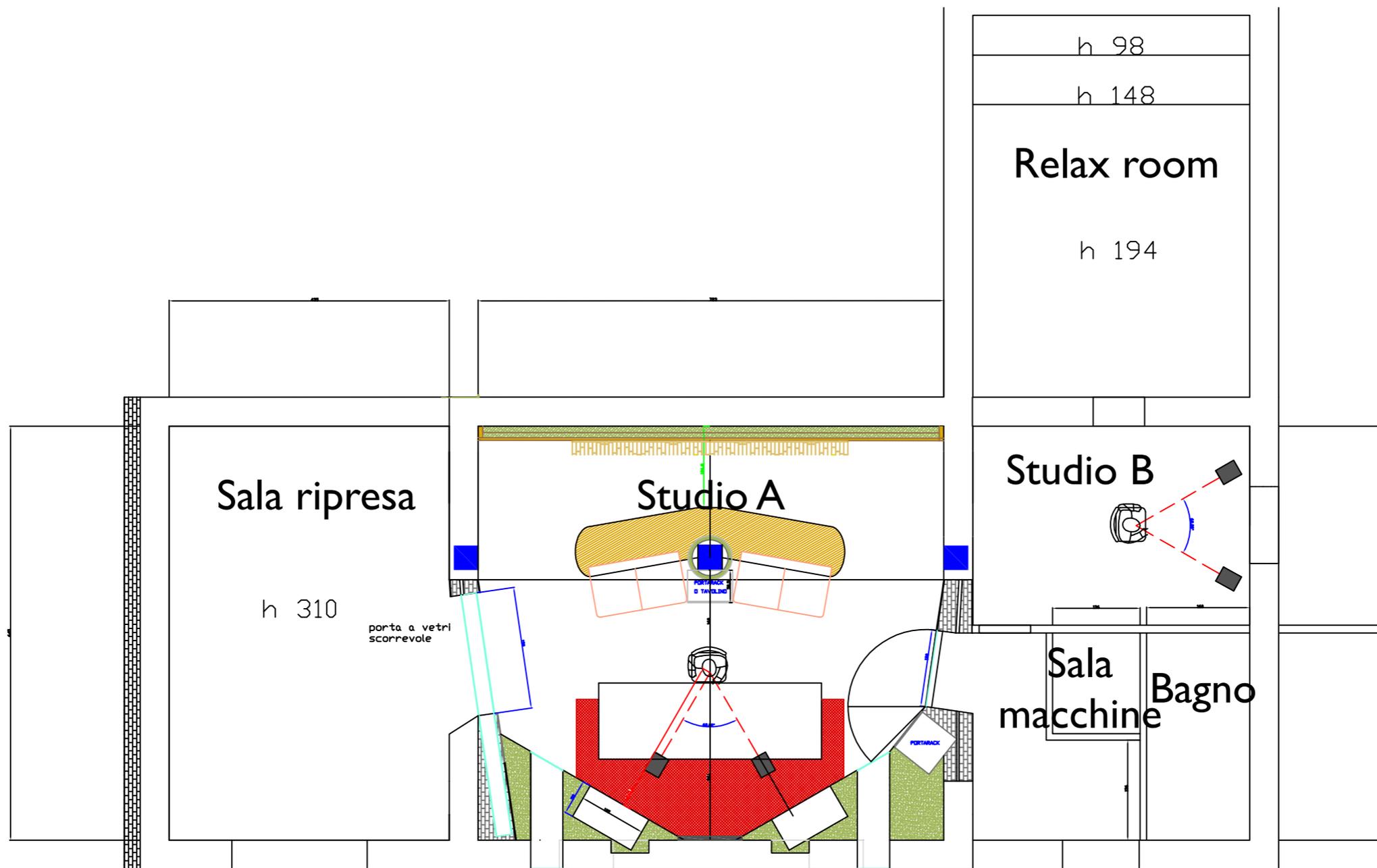
# Necessità di altri locali

- Sala ripresa di dimensioni accettabili per la registrazione di un pianoforte (C3 Yamaha)
- Studio B
- Sala macchine
- Bagno
- Relax-room

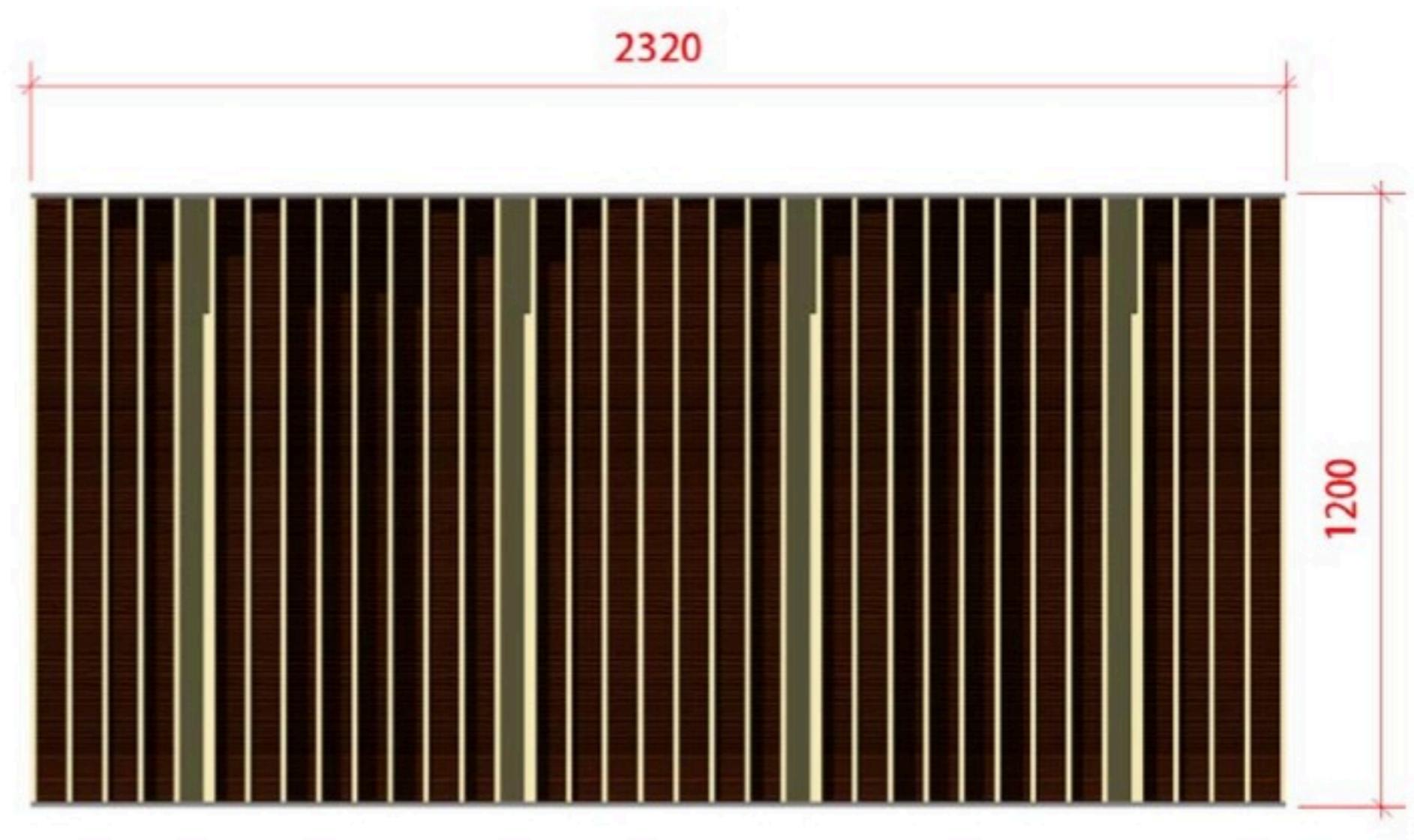


# Altre necessità

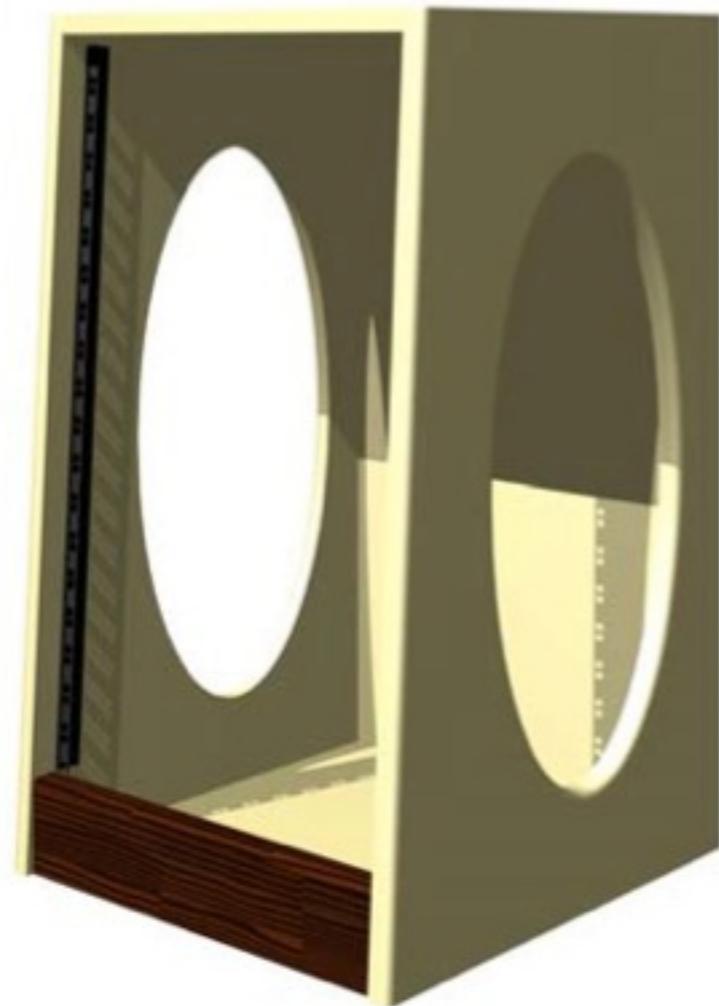
- Porta grande per passaggio eventuale del banco e altri grandi strumentazioni
- Postazioni secondarie per un ottimo ascolto per produttori e collaboratori
- Inserimento portarack nel muro a vista



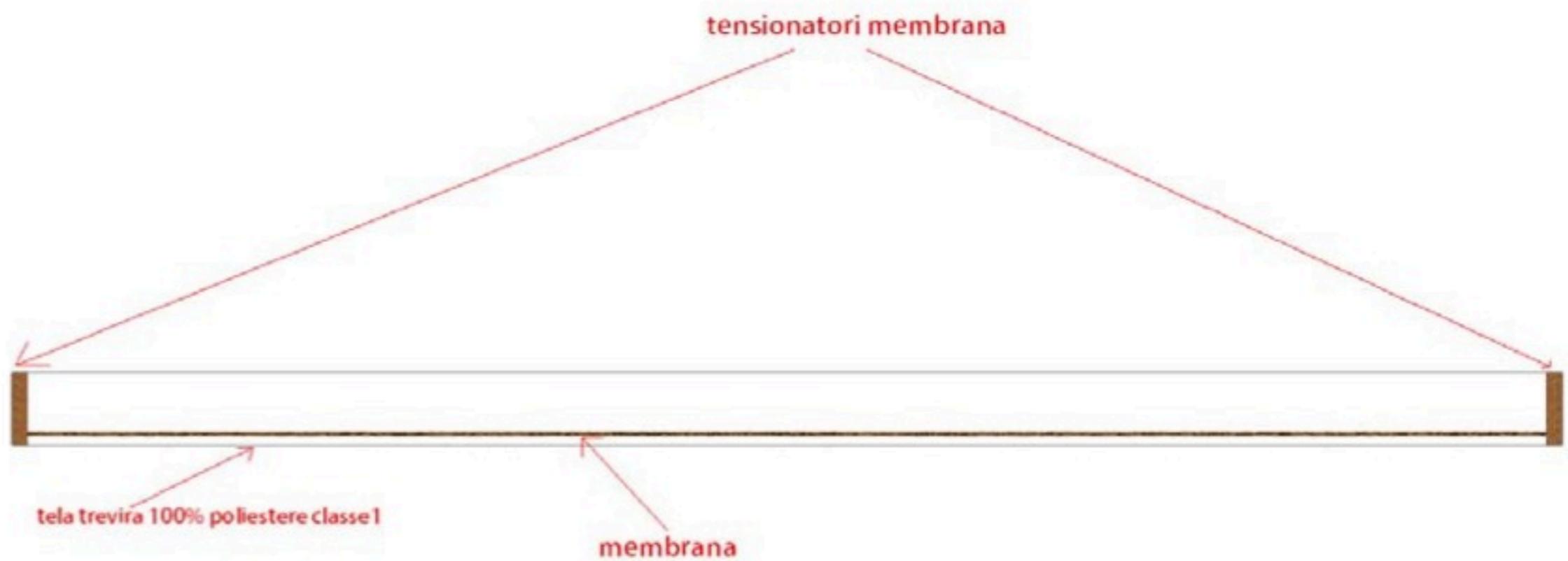
# Elementi dello studio



QRD



## Portarack

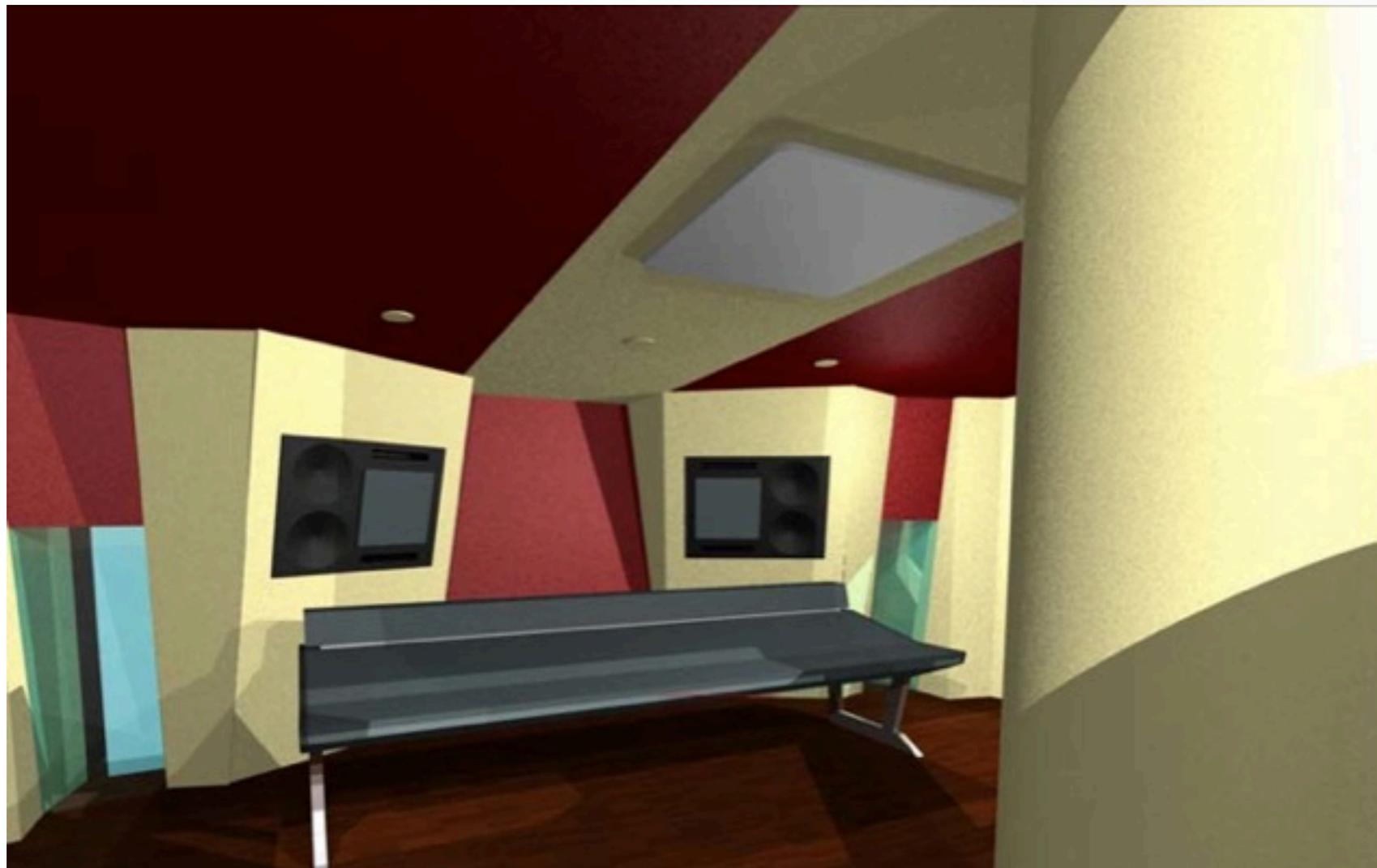


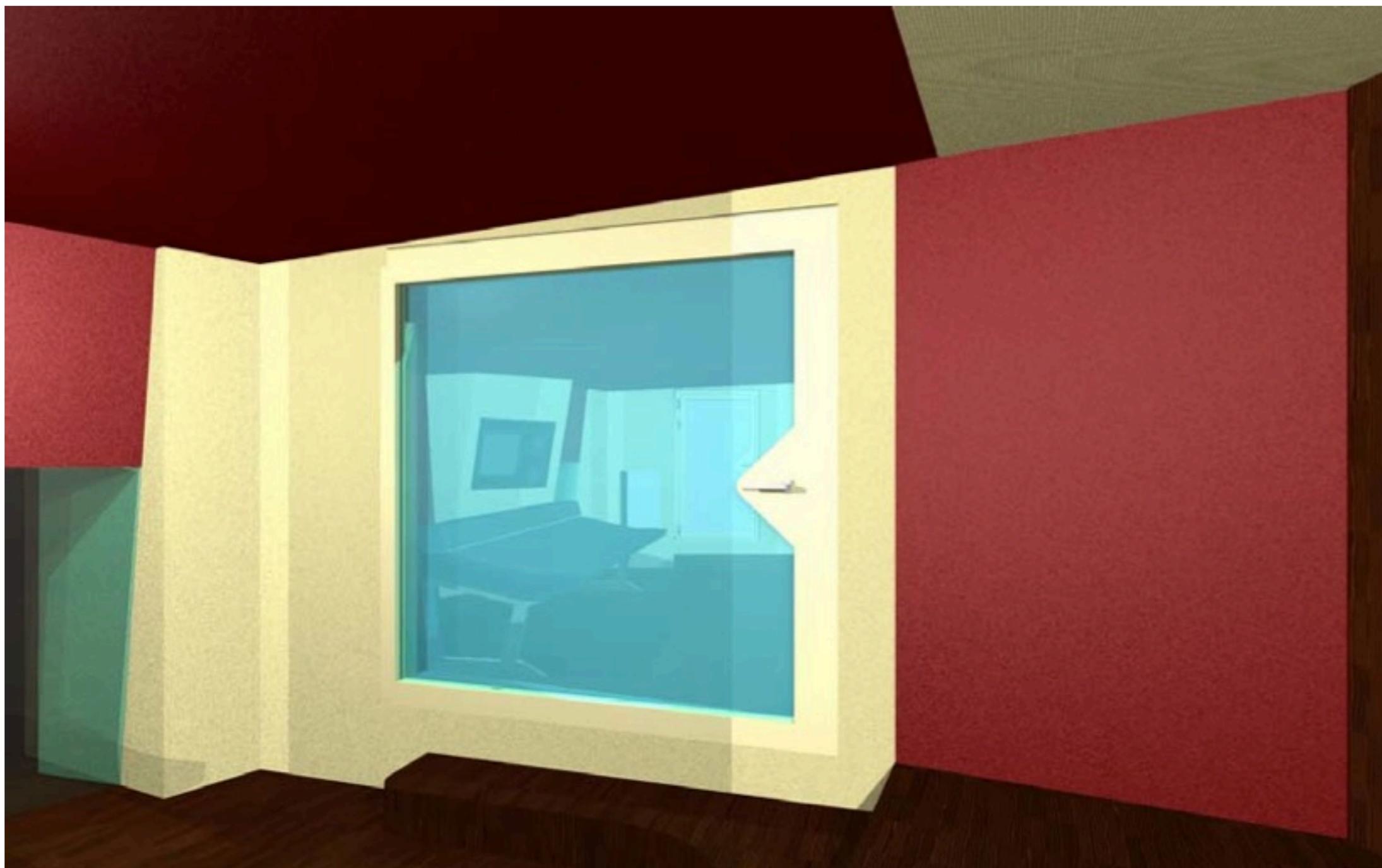
## Risonatore a Membrana



## Fronte, casse incassate e bass-traps

struttura frontale in multistrato pioppo lavorato  
a controllo numerico e rivestito di tessuto trevira  
100% poliestere





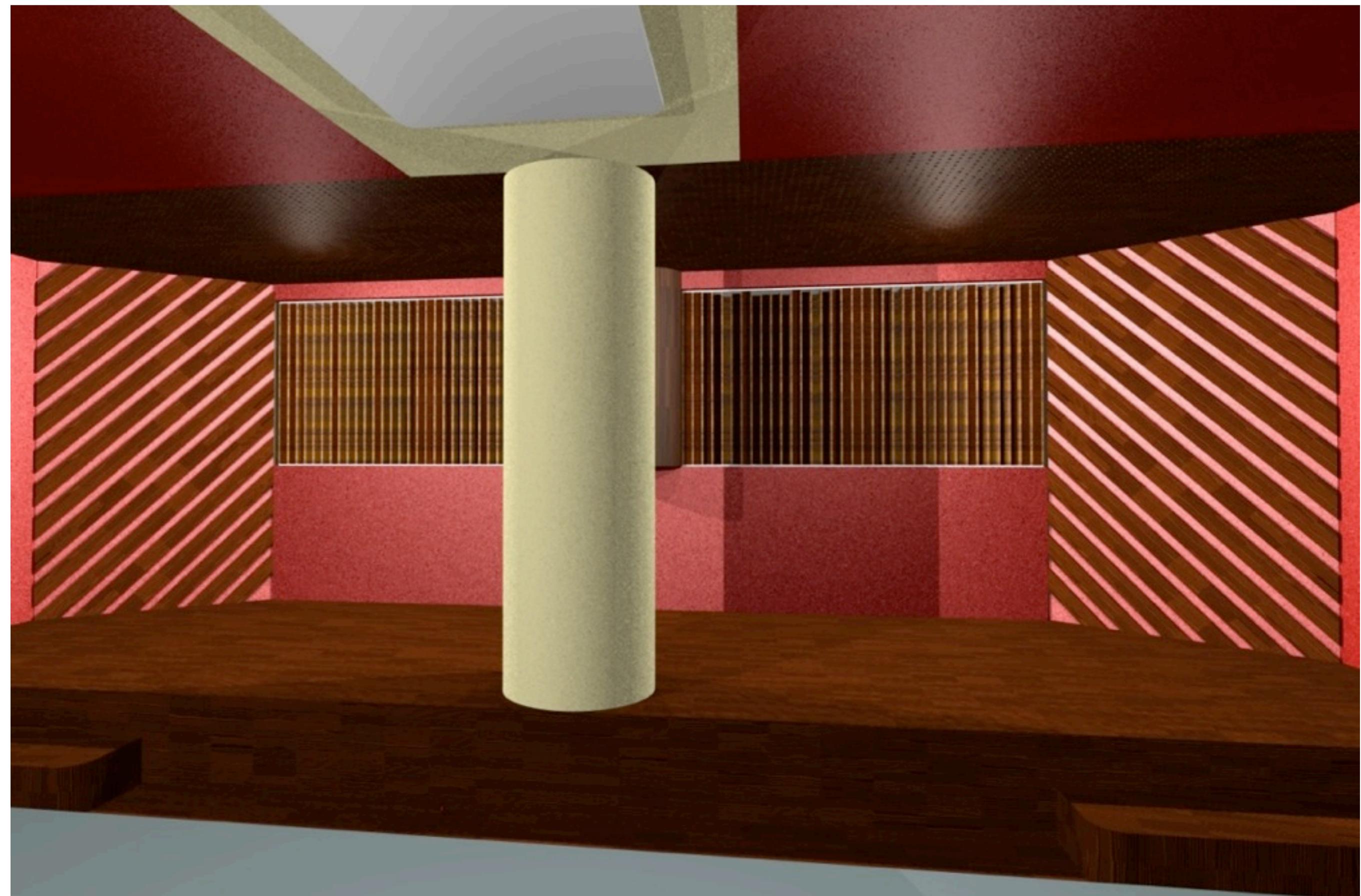
## Porta acustica a vetri scorrevole

# Rendering



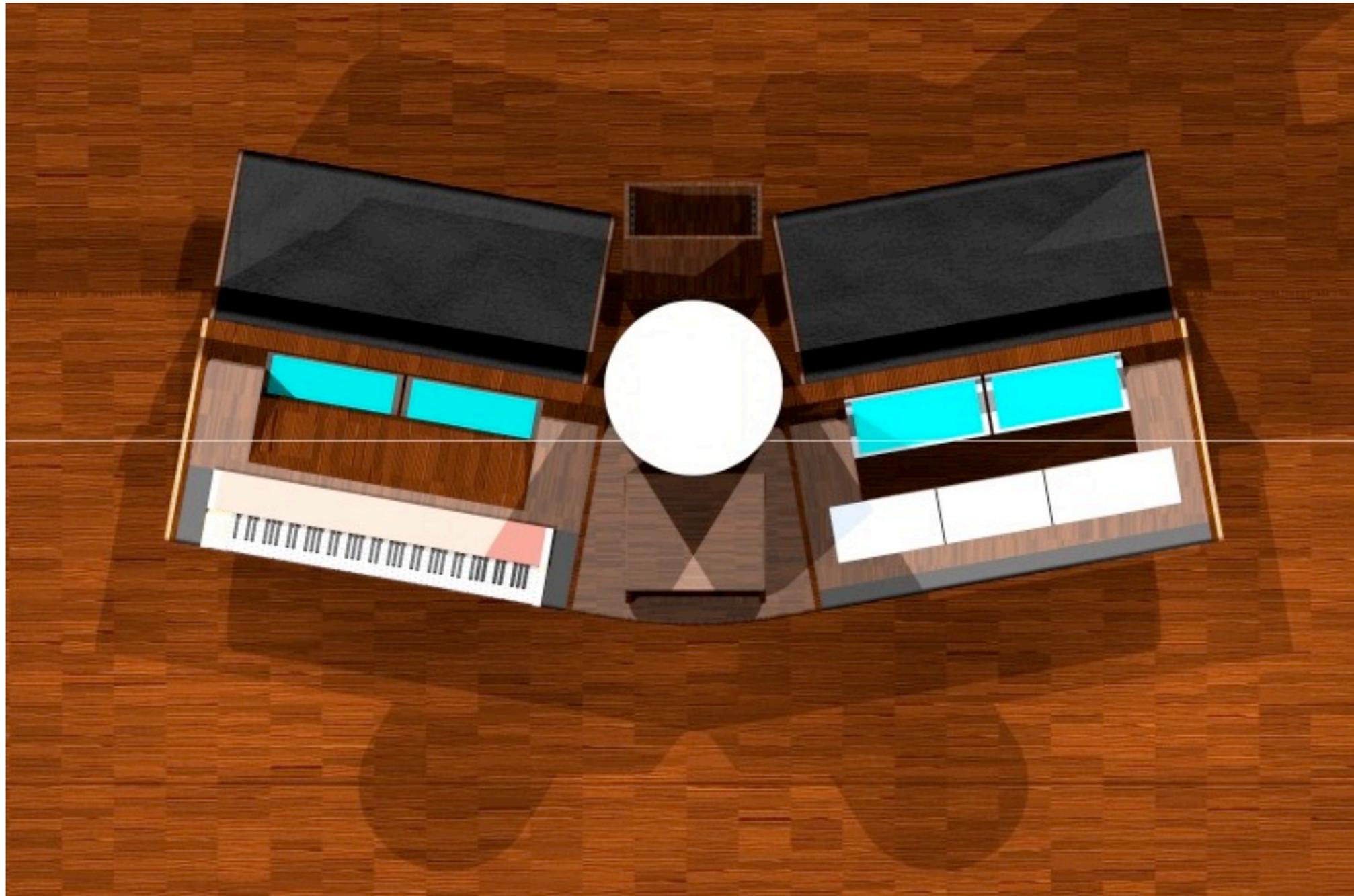


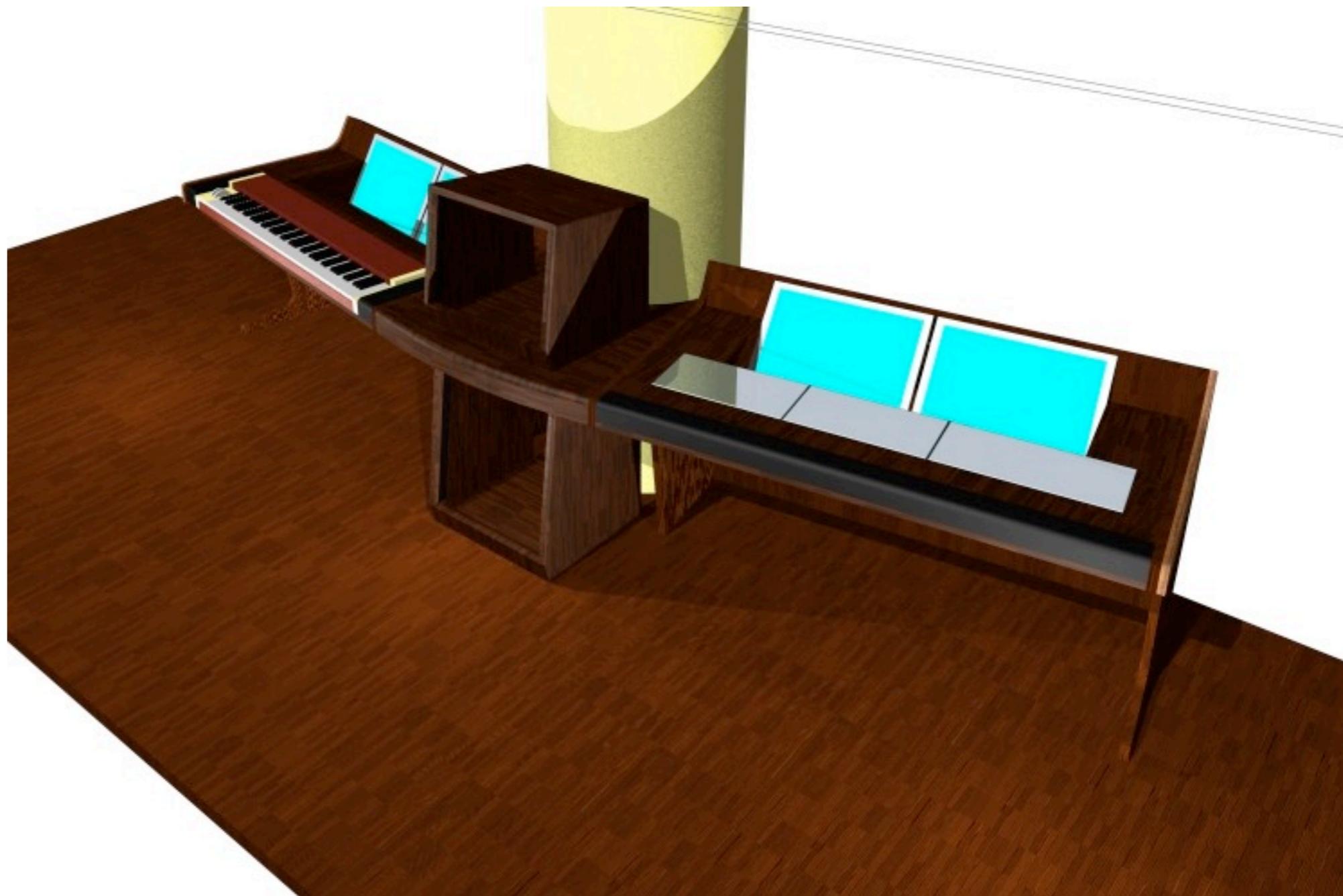




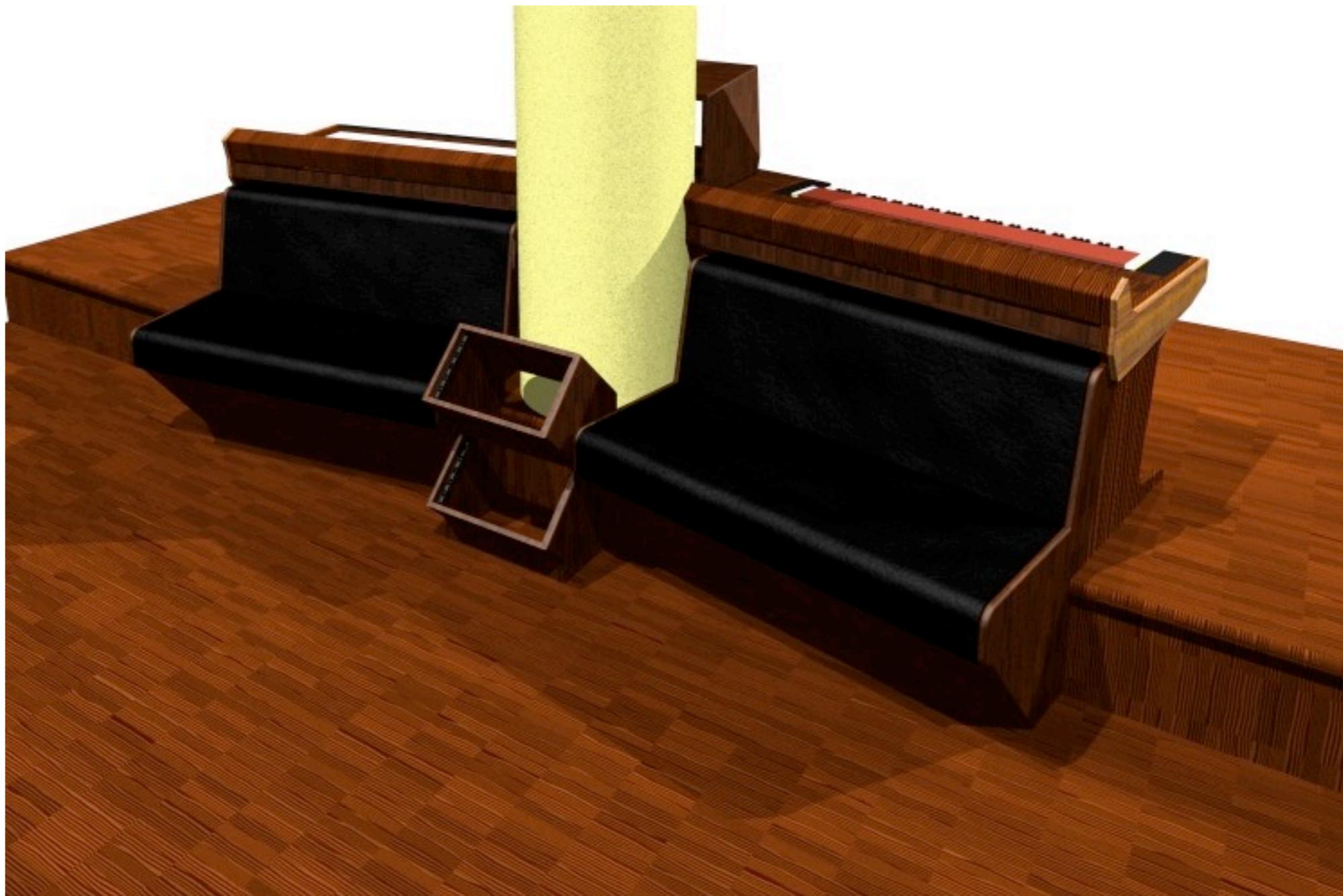


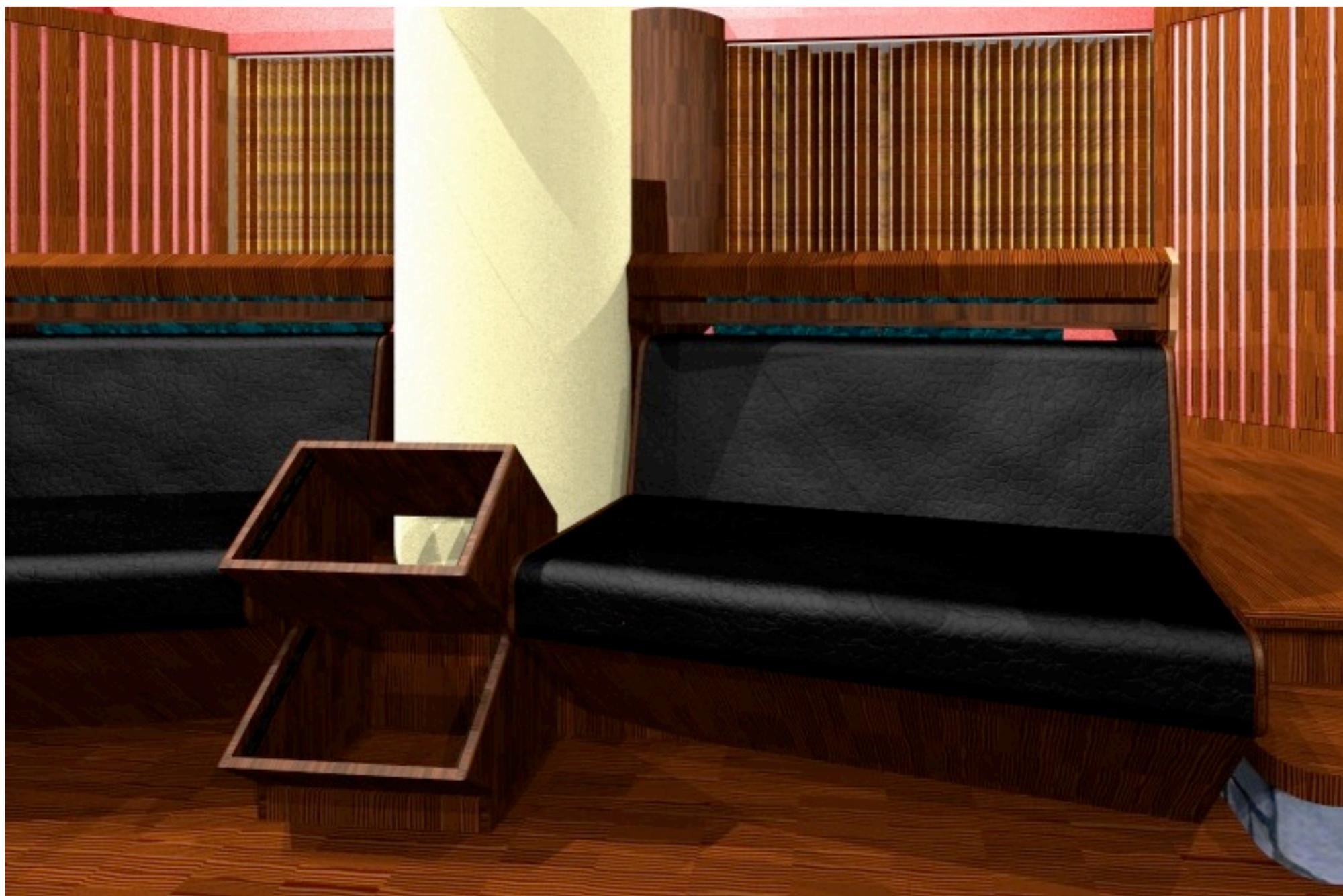
# Postazioni editing, composing















# *Acoustic* design

## Analisi acustica di uno studio di registrazione

# Analisi geometrica preliminare

- Misurare tutte le distanze (H, W, L, posizioni casse, operatore, distanza casse-pareti)
- Verifica dell'angolo e direzione degli ascolti
- Verifica dove avvengono le prime riflessioni

# Forma della stanza

- Se la stanza è irregolare valutare effetti dovuti alla sua irregolarità
- verifica della Bolt Area
- Analisi modale, calcolo e simulazione

# Misurazioni acustiche

- Misura la risposta in frequenza vicino alle casse per vedere se la sorgente è lineare
- Misura della risposta all'impulso al punto operatore
- Verifica della risposta in frequenza in vari punti della stanza, trovare e mappare punti di cancellazione e enfaticizzazione

# Studio dei dati misurati

- notare se qualche enfattizzazione o buca della risposta in frequenza è relativa a cancellazioni di fase o modali (calcolando la frequenza partendo dalla distanza)
- notare se c'è correlazione tra il tempo di riverberazione misurato e i coefficienti di assorbimento dei materiali che rivestono le pareti
- notare se EDT e T30 sono simili per valutare la diffusione, e vedere dove c'è poca diffusione
- cercare eventuali comb-filters (effetti pettine) provocati dalla riflessione su qualche superficie

# *Acoustic* design

## Dispositivi di correzione acustica

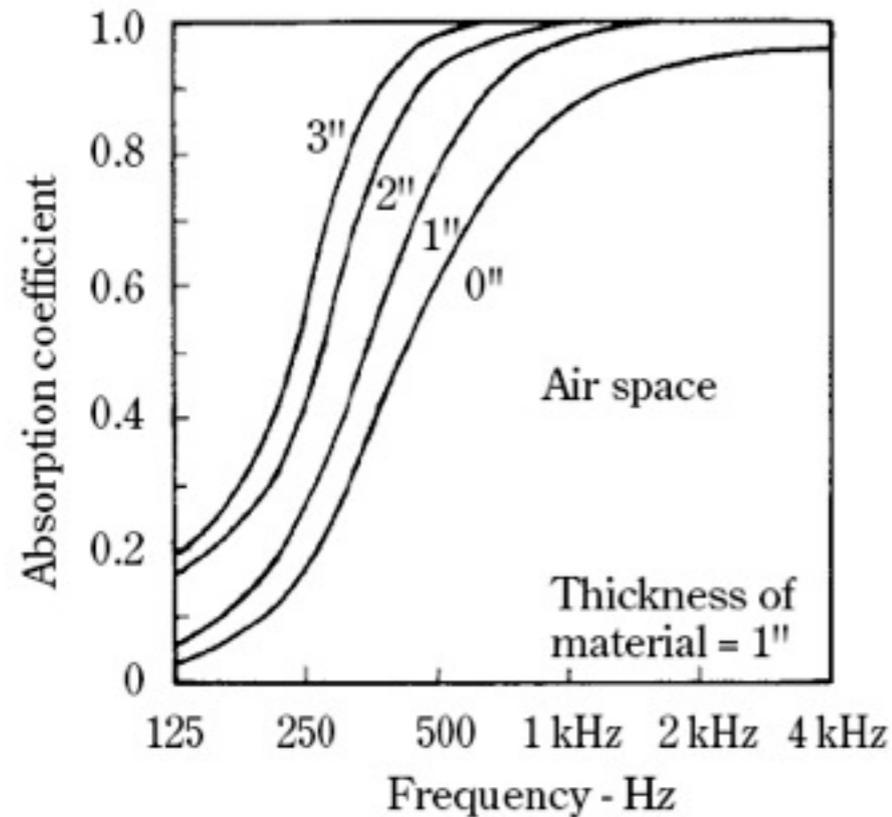
# Assorbimento acustico

1. Assorbimento per porosità
2. Assorbimento per risonanza di membrana
3. Assorbimento per risonanza di cavità

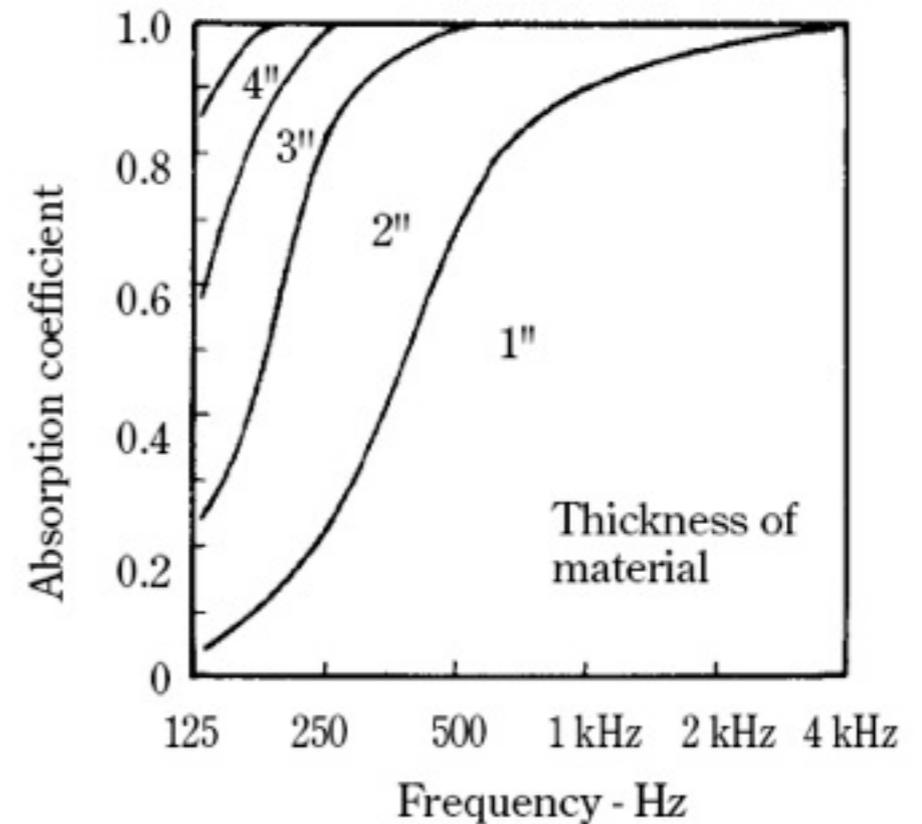
# I. Materiali assorbenti per porosità

- materiali fibrosi (lana di vetro, lana di roccia, truciolati di legno, sughero, fibre di poliestere, gesso, cartongesso)
- materiali a cellule aperte (schiume poliuretatiche, poliuretano espanso, foam melamminico)
- materiali fibrosi (moquette, linoleum, tendaggi, tessuti naturali e artificiali di vario tipo)

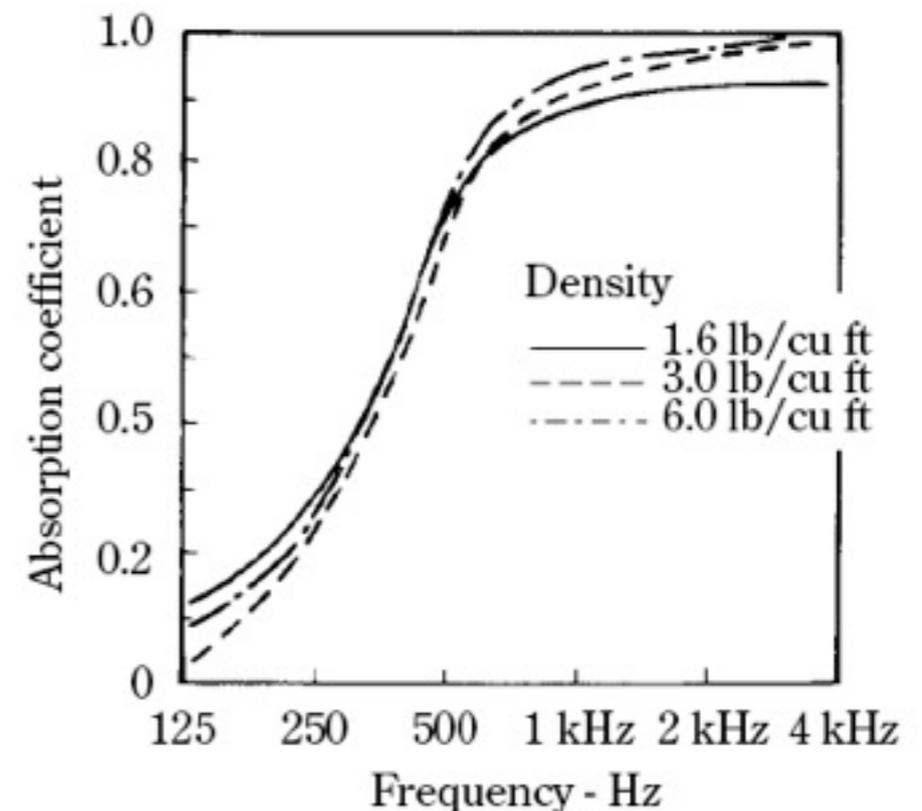
# Effetto delle camere d'aria dietro gli assorbitori



# Spessore degli assorbitori



# Effetto della densità dell'assorbitore



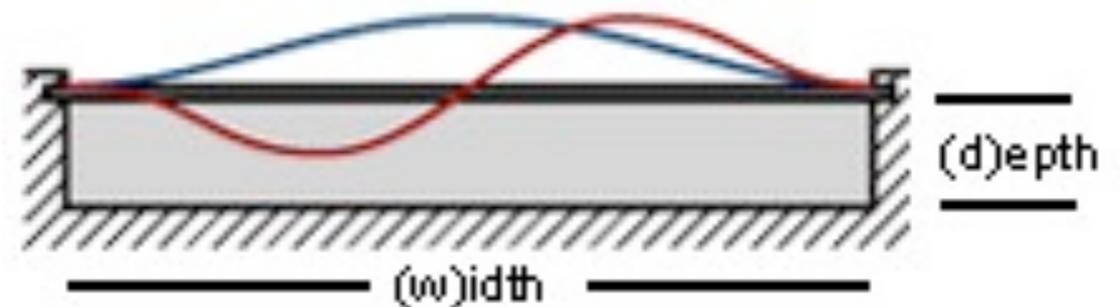
# 2. Assorbitori a membrana

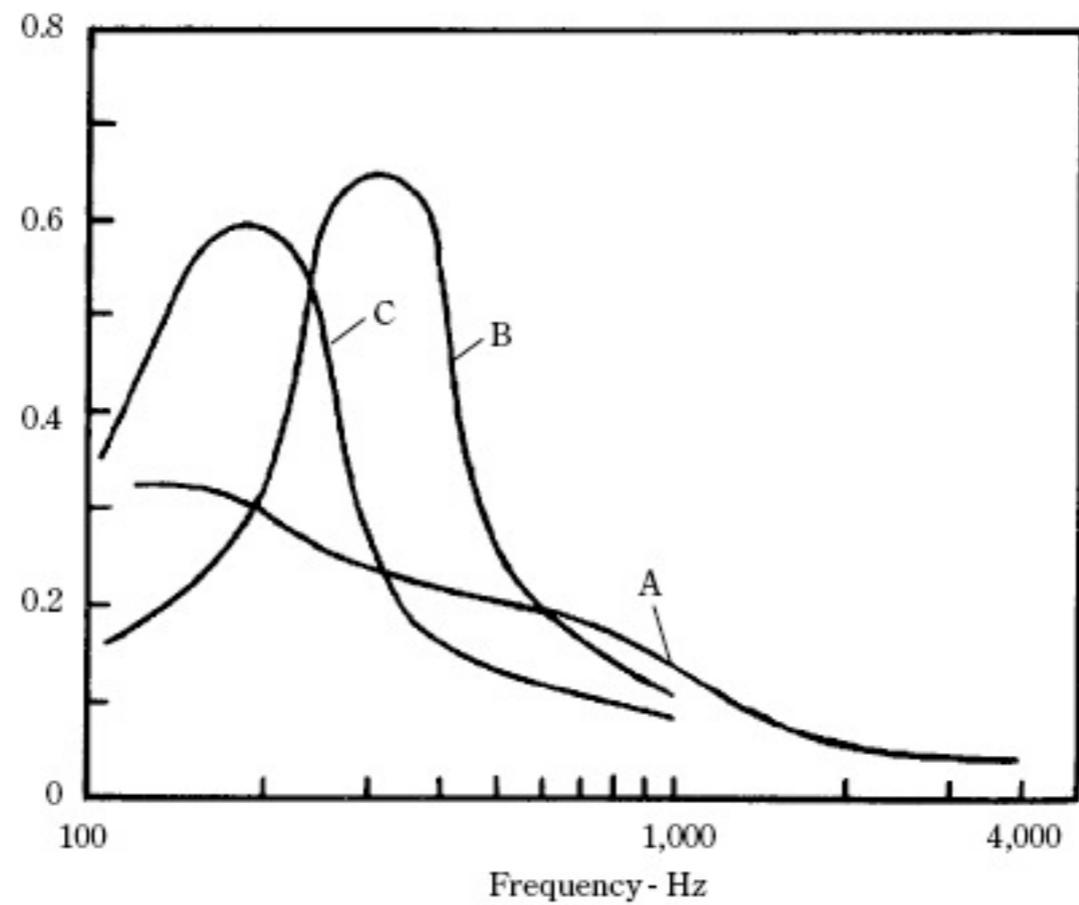
- Sistema massa-aria-massa
- Si assorbe una frequenza particolare
- Se si aggiunge nell'intercapedine del materiale fonoassorbente si può allargare in frequenza la campana per la quale avviene assorbimento
- assorbe parte del suono che trasforma in calore per il flettersi delle sue fibre

$$f_0 = \frac{62}{\sqrt{\rho_A \cdot d}}$$

$\rho_A$  = densità del pannello ( $\text{kg/m}^2$ )

$d$  = spessore della camera d'aria (cm)



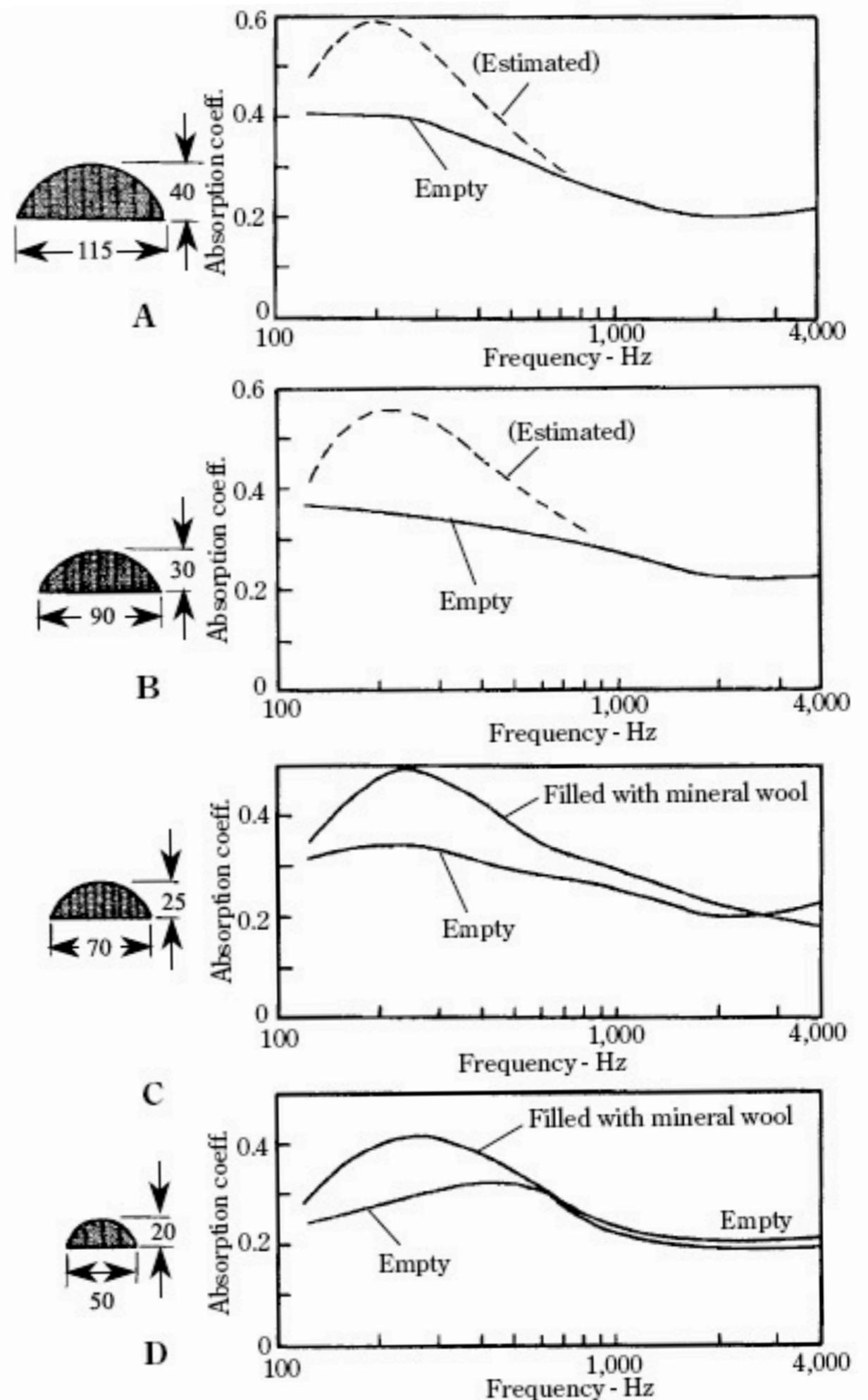


- (A) compensato 3/16" con 2" di aria
- (B) compensato 1/16" con 1" lana di roccia e 1/4" aria
- (C) come (B) ma per un pannello di 1/8"

# Assorbitori policilindrici

- sono diffusori (ad alte freq.) e assorbitori (alle medio-basse)
- la frequenza propria dei policilindrici è approssimativamente 125 Hz più alta di quella relativa ad un pannello piatto con le stesse caratteristiche (densità, spessore)
- Il policilindrico inoltre irradia il suono con un angolo di circa 120° contro i 20° di un pannello piatto

Se il poly viene riempito con materiale assorbente aumenterà il suo potere assorbente per le basse frequenze, vedi fig a lato.

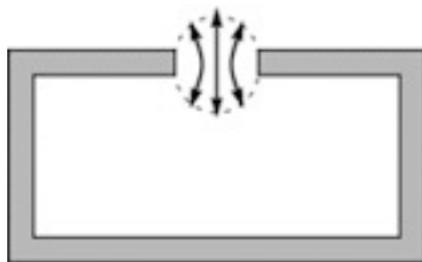


# 3. Assorbitori per Risonanza

- Risonatori di Helmholtz
- Assorbitori a pannelli forati
- Assorbitori a stecche

# Il principio della risonanza di Helmholtz

- Il sistema si basa su una massa che vibra in risonanza con una molla.
- Il rapporto tra la massa e la rigidità dinamica della molla definisce la frequenza di risonanza.
- In questo caso l'aria agisce come una molla con una rigidità dinamica definita dal suo volume: più grande è il volume e più diventa debole la molla (frequenza di risonanza più bassa).
- Per un risonatore di Helmholtz la massa è rappresentata dalla massa d'aria racchiusa nel collo del risonatore.



$$f_H = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{A}{V \cdot l}}$$

$A$  = area del collo

$V$  = volume del risonatore

$l$  = lunghezza del collo

# Caratteristiche della risonanza

1. Assorbimento del suono per una data frequenza e con una precisa campanatura. La larghezza della campana dipende dall'attrito del sistema, ad esempio questa si allarga se si inserisce materiale poroso fonoassorbente nel collo dell'apertura o dentro il risonatore stesso.
2. Il suono che non può essere assorbito dal risonatore viene diffuso. In particolare un risonatore irradia il suono dalla sua apertura in modo semisferico.

# Assorbitori a pannelli perforati

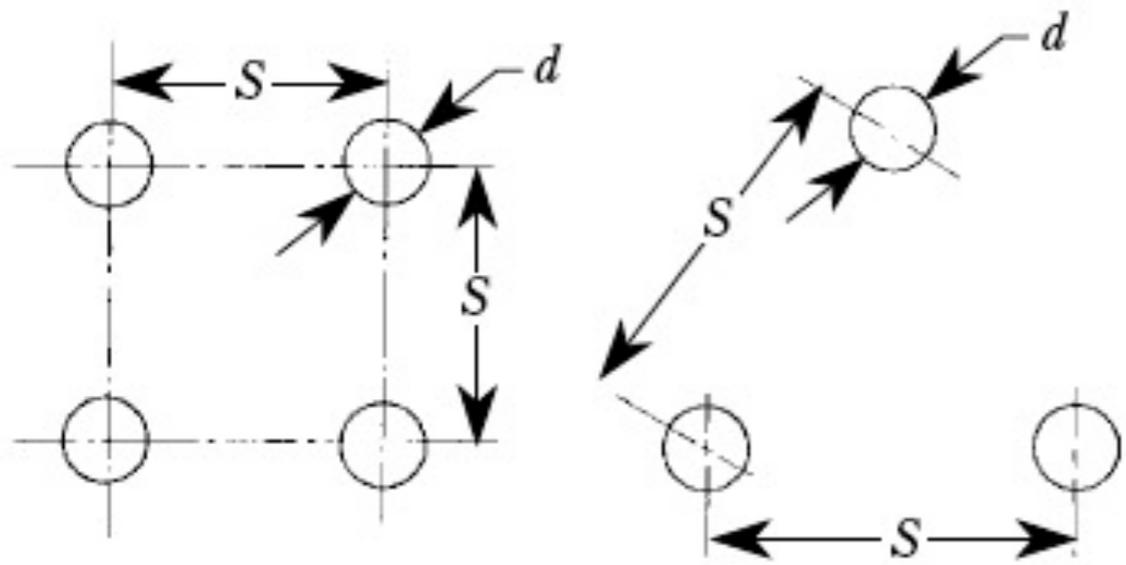
- Possiamo vedere questa struttura come un sistema di risonatori accoppiati.
- Se il suono giunge perpendicolare al pannello perforato, tutti i piccoli risonatori sono in fase. Per le onde sonore che arrivano dal lato, l'assorbimento è meno efficiente. Questa perdita può essere minimizzata sezionando la cavità dietro alla faccia perforata.

$$f_{Hp} = 508 \sqrt{\frac{P\%}{t \cdot l}}$$

$P\%$  = percentuale di perforazione: (area dei buchi / area del pannello) x 100

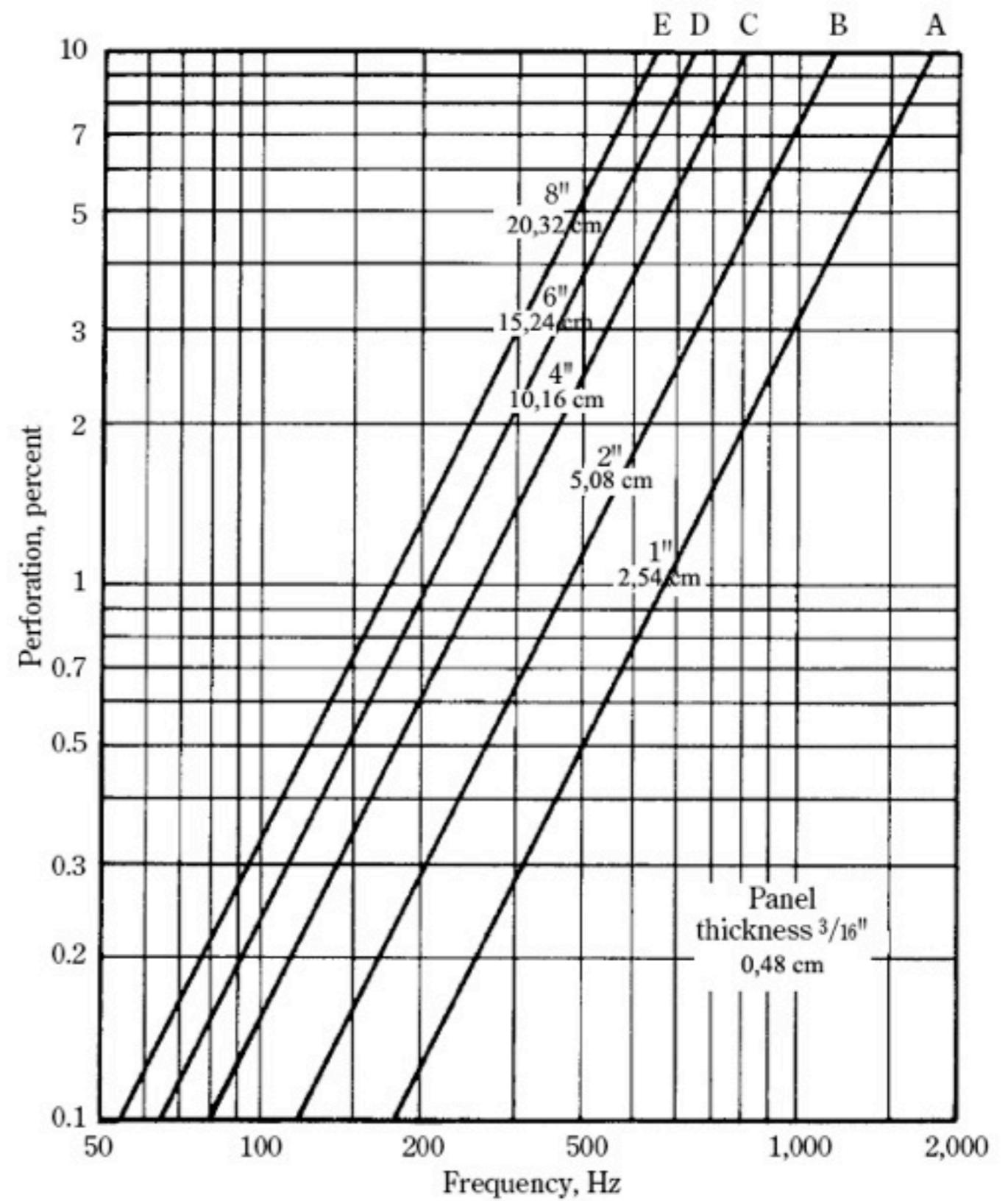
$t$  [cm] = lunghezza effettiva dei buchi, con fattore di correzione applicato (spessore pannello + 0.8 x diametro buco)

$l$  [cm] = profondità della camera d'aria



$$\text{PERF \%} = 78.5 \left( \frac{d}{S} \right)^2$$

$$\text{PERF \%} = 90.6 \left( \frac{d}{S} \right)^2$$



# Assorbitori a Stecche

- La massa dell'aria negli slot tra tra le stecche reagisce con l'aria nella cavità per formare un sistema risonante.
- Si introduce solitamente fibra di vetro dietro agli slot per fare resistenza e allargare quindi il picco d'assorbimento
- Più sono stretti gli slot e più sono profonde le cavità, più è bassa la frequenza di assorbimento massimo.

$$f_{Hs} = 5469 \sqrt{\frac{r}{1.2[dD(r+w)]}}$$

$r$  = slot width [cm]

$d$  = slat thickness [cm]

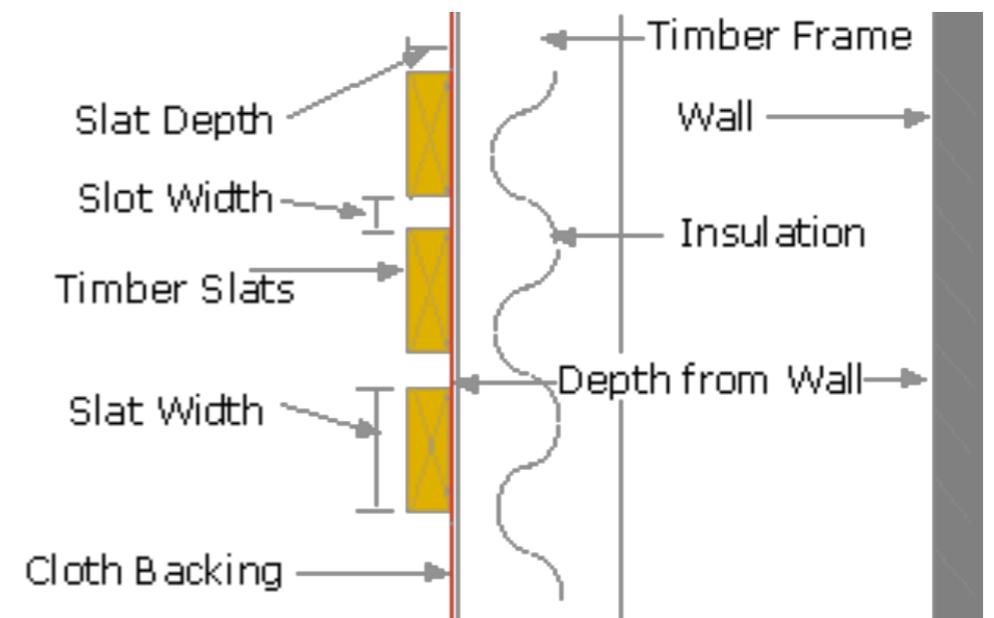
1.2 = mouth correction [cm]

$D$  = cavity depth [cm]

$w$  = slat width [cm]

5469 =  $c/(2*\pi)$

$c$  = speed of sound [cm/sec] (circa 34300)

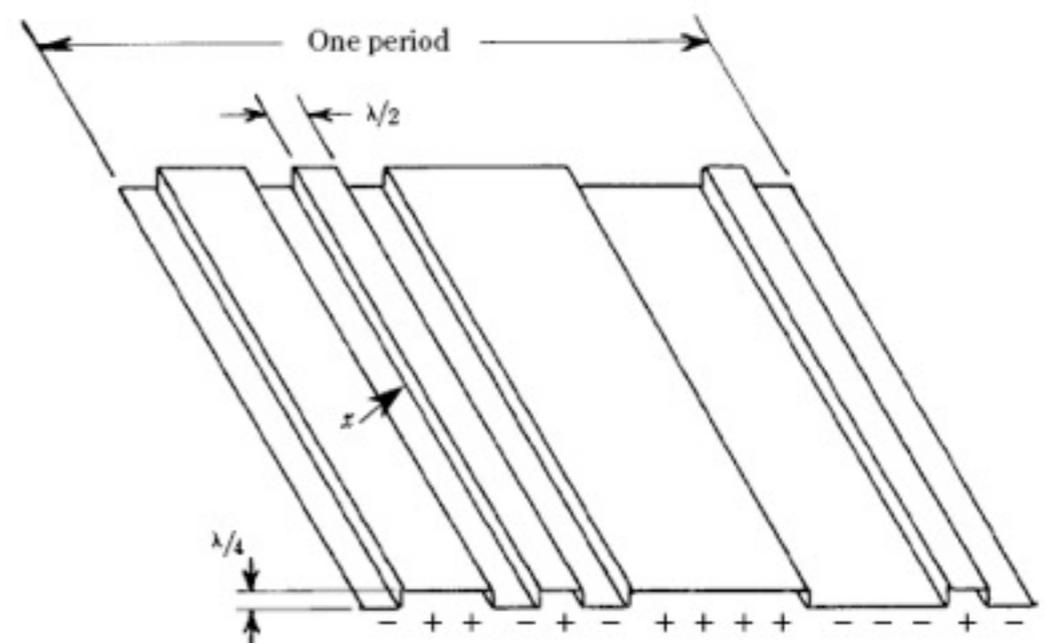


# Diffusione acustica

- Superfici convesse (poly), triangolari etc.
- Diffusore di Schroeder
- QRD, linea RPG di D'Antonio
- Diffusione a linee curve elaborate con simulazioni di calcolo numerico

# Diffusore di Schroeder

- Schroeder notò che una piastra metallica con la forma relativa ad una pattern che segue una sequenza MLS, per opera della diffrazione, diffonde il fascio incidente di un angolo molto più ampio di qualsiasi altro diffusore.
- se lo spessore è di  $\lambda/2$ : non accade niente
- se lo spessore è di  $\lambda/4$ : diffusione
- se lo spessore è di  $\lambda/2$  ma anche solo un listello viene coperto: non accade niente



# QRD Quadratic Residue Diffusers

- reticolo di diffrazione di fase e diffonde il suono piuttosto uniformemente in tutte le direzioni
- utilizzando queste evidenze sperimentali si è potuto progettare un dispositivo che permetta il phase-shift (o time-shift)
- per far ciò si è pensato ad una disposizione di buche e spessori determinati dalla sequenza dei residui quadratici
- lo spessore più alto è determinato dalla lunghezza d'onda più lunga che dev'essere diffusa
- la larghezza delle buche è circa mezza lunghezza d'onda della più corta lunghezza d'onda che dev'essere diffusa

$$d = n^2 \text{ mod } p$$

$d$  : profondità di ogni buca

$n$  : numero naturale (intero tra 0 e infinito)

$p$  : numero primo

Quadratic-residue sequences

$n$	$p$						
	5	7	11	13	17	19	23
0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1
2	4	4	4	4	4	4	4
3	4	2	9	9	9	9	9
4	1	2	5	3	16	16	16
5	0	4	3	12	8	6	2
6		1	3	10	2	17	13
7		0	5	10	15	11	3
8			9	12	13	7	18
9			4	3	13	5	12
10			1	9	15	5	8
11			0	4	2	7	6
12				1	8	11	6
13				0	16	17	8
14					9	6	12
15					4	16	18
16					1	9	3
17					0	4	13
18						1	2
19						0	16
20							9
21							4
22							1
23							0

Well depth or proportionality =  $n^2$  modulo  $p$

$n$  = integer

$p$  = prime number

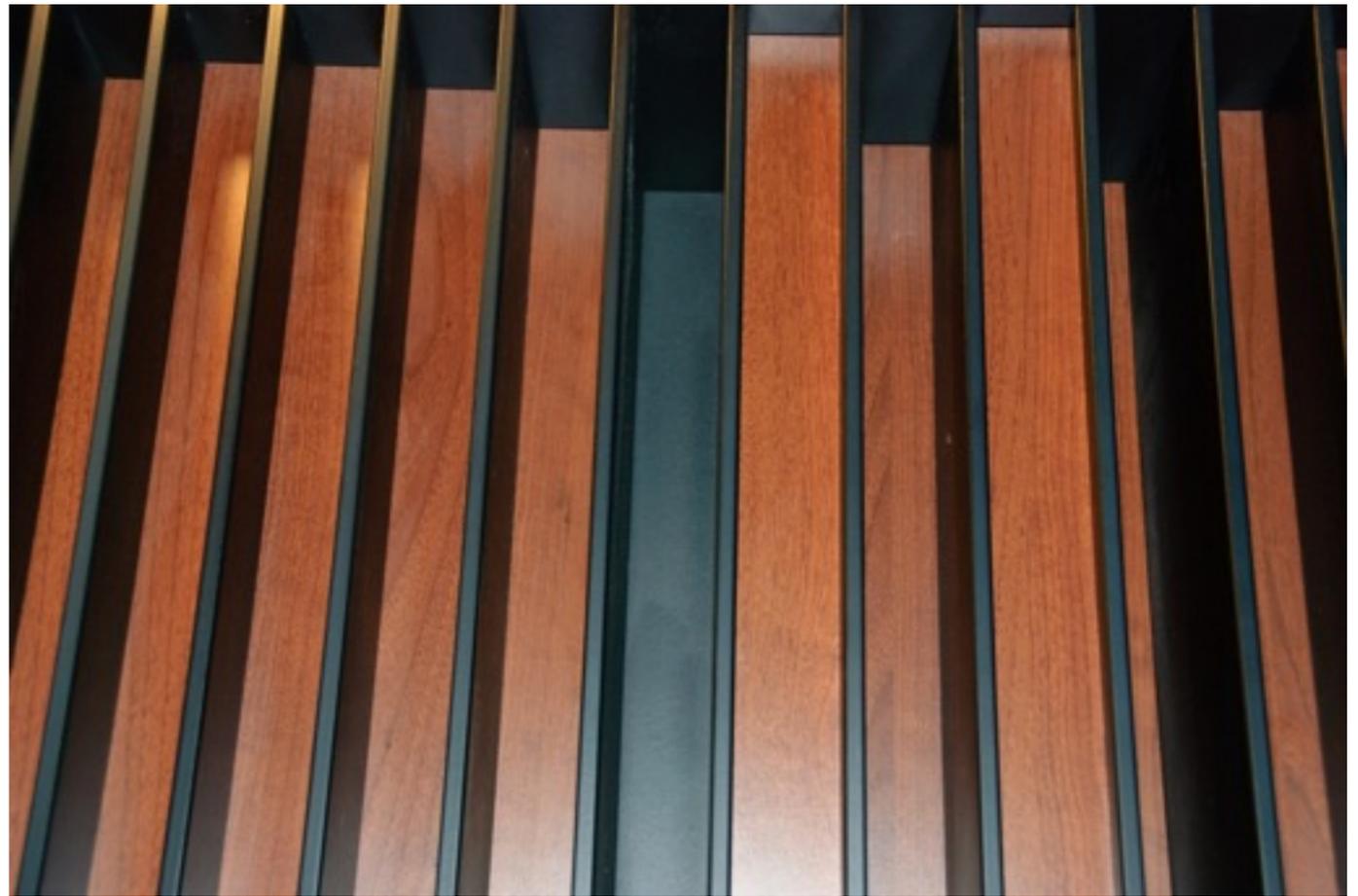
Per trovare la lunghezza di ogni singolo blocco si deve sapere la frequenza per la quale il diffusore è progettato:

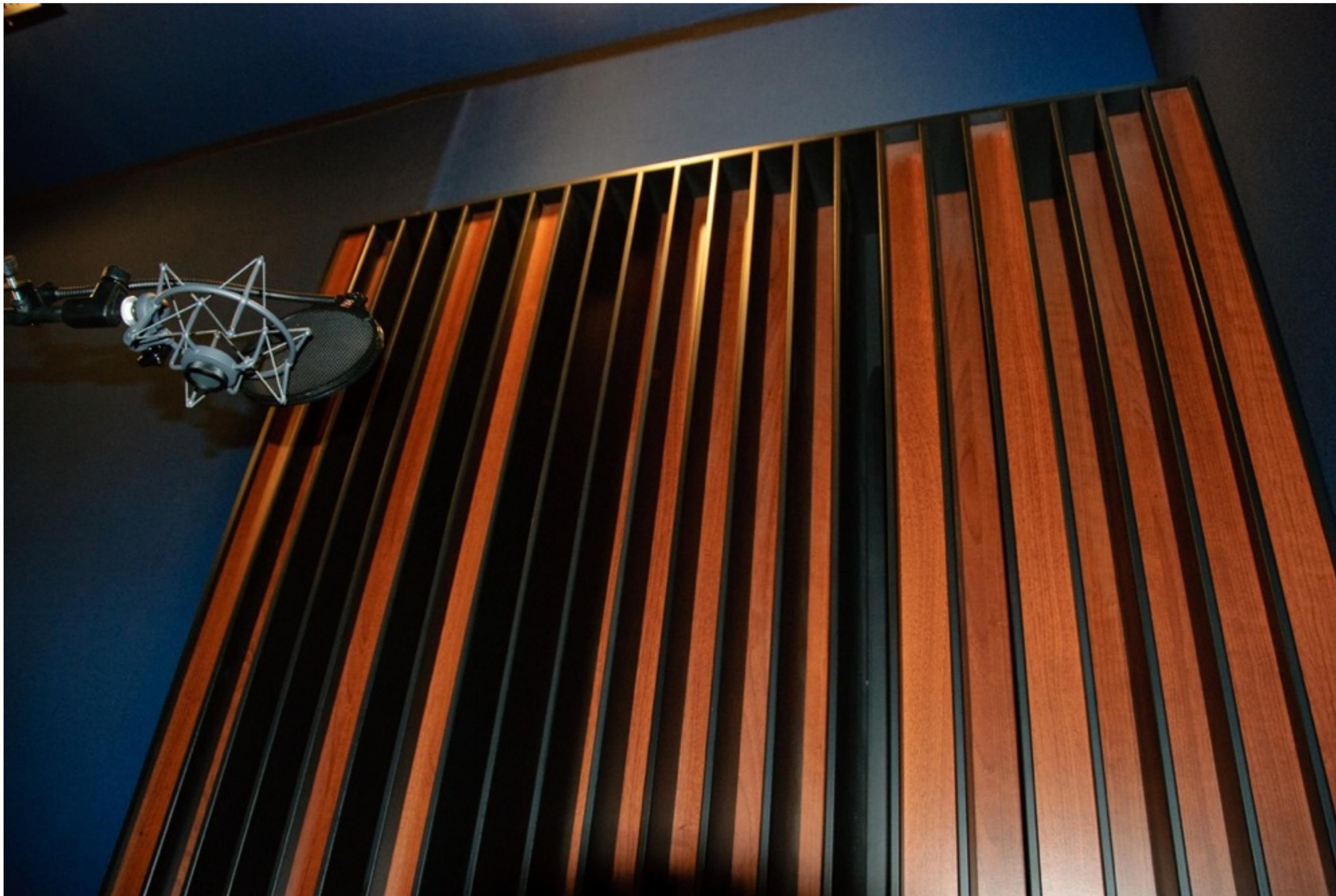
$$d_n = s_n \left( \frac{\lambda}{2p} \right)$$

Tabella per ricavare la lunghezza dell'unità $d_n$ a partire dalla frequenza per cui è progettato il diffusore		
Frequenza [Hz]	p (numero primo)	Lunghezza unità [cm]
1000	7	2,45
	11	1,56
	13	1,32
	17	1,01
	19	0,90
	23	0,75

La larghezza dei blocchi invece dovrebbe essere costante e piccola se comparata alla frequenza per la quale è progettato il diffusore, o almeno sicuramente non più grande di  $\lambda/2$

Schroeder suggerisce  $0.137 \cdot \lambda$





# Primitive-Root Diffusers

Questo tipo di diffusori utilizza una differente sequenza della teoria dei numeri:

$$d = g^n \text{ mod } p$$

$p$  : numero primo

$g$  : è l'ultima primitive-root di  $p$

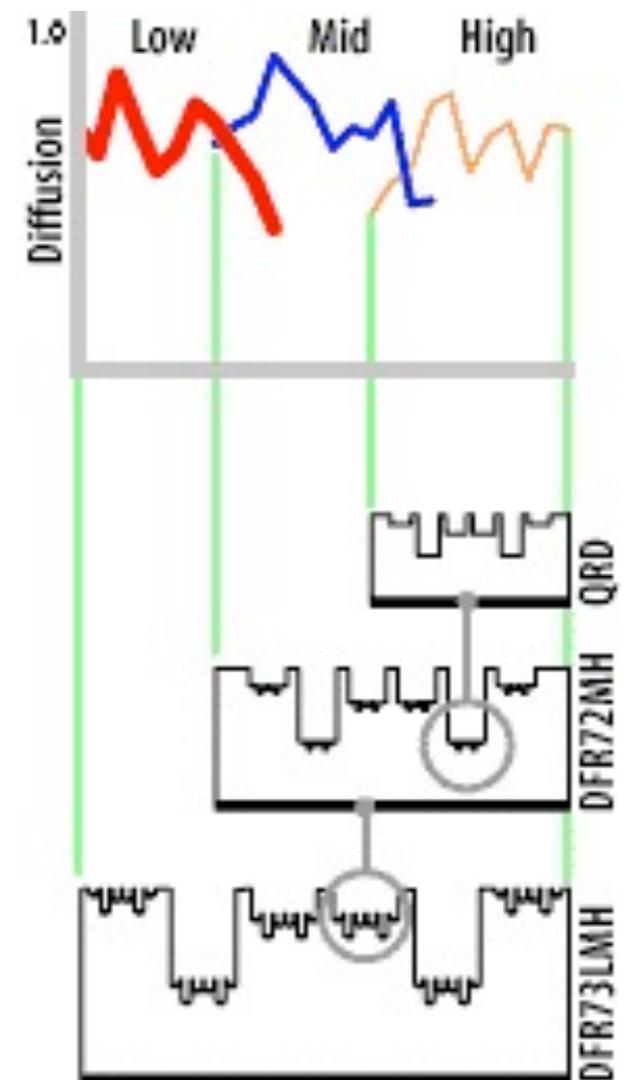
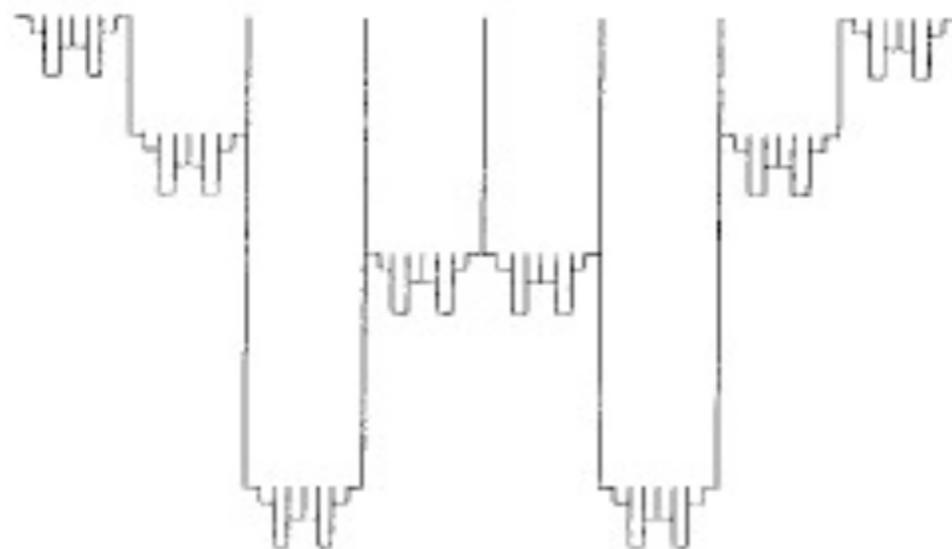
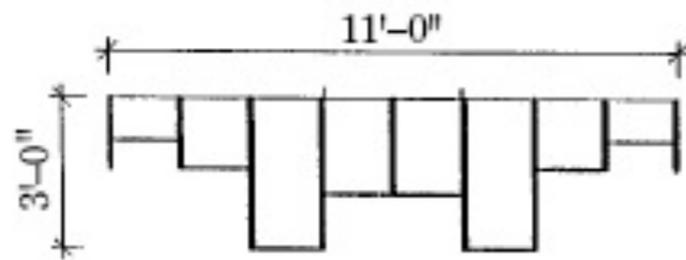
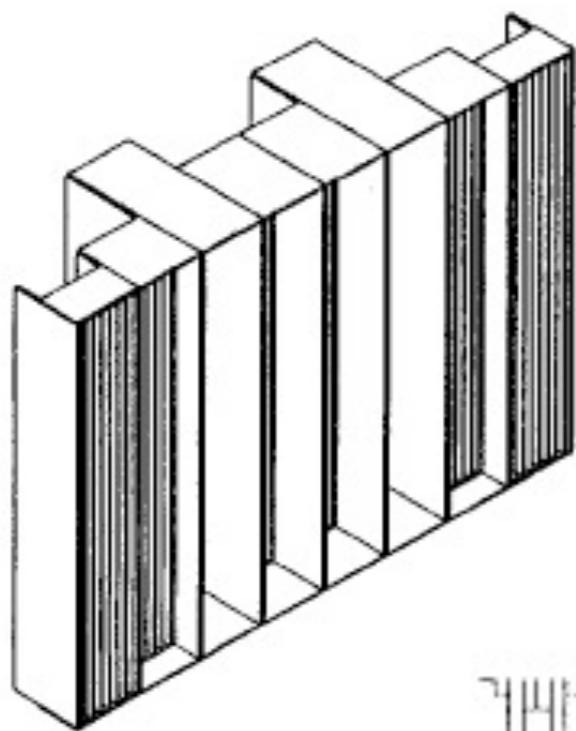
$n$  : numero naturale (intero tra 0 e infinito)

Primitive-root sequences

$n$	$p = 5$ $g = 2$	$p = 7$ $g = 3$	$p = 11$ $g = 2$	$p = 13$ $g = 2$	$p = 17$ $g = 3$	$p = 19$ $g = 2$
1	2	3	2	2	3	2
2	4	2	4	4	9	4
3	3	6	8	3	10	8
4	1	4	5	3	13	16
5		5	10	6	5	13
6		1	9	12	15	7
7			7	10	11	14
8			3	9	16	9
9			6	5	14	18
10			1	10	8	17
11				7	7	15
12				1	4	11
13					12	3
14					2	6
15					6	12
16					1	5
17						10
18						1

Well depth or proportionality =  $g^n$  modulo  $p$   
 $p$  = prime number  
 $g$  = least primitive root of  $p$

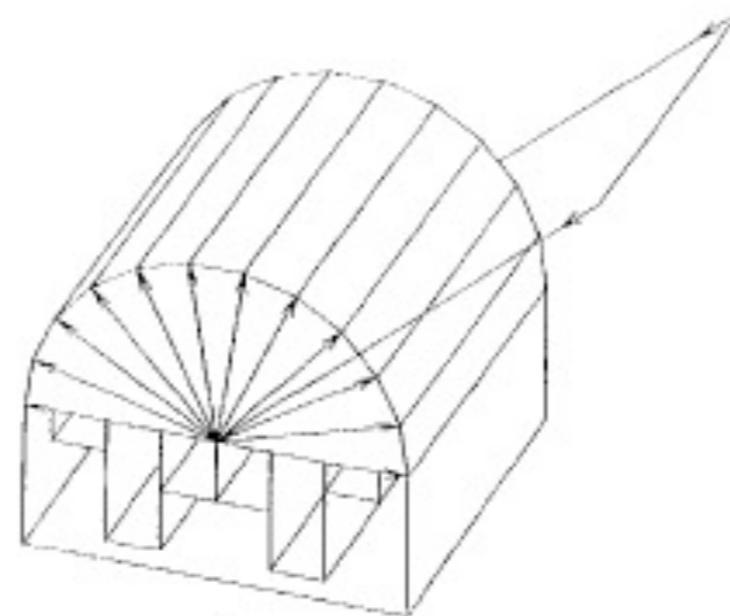
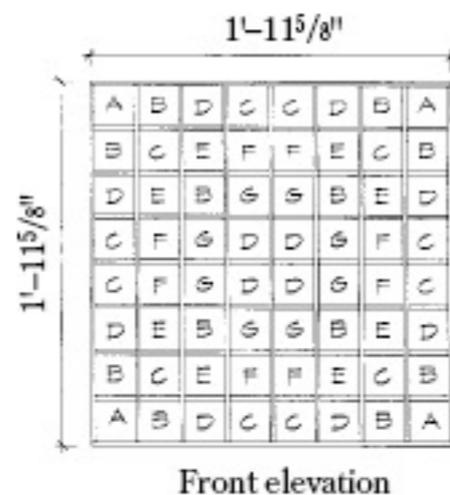
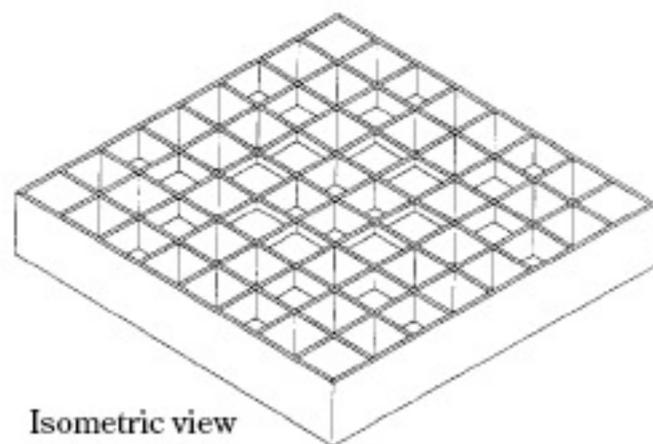
È molto importante capire la frequenza sulla quale agisce il diffusore. Per questo motivo, sulla falsariga della costruzione delle casse a più vie, si costruiscono diffusori a banda larga (Diffractal) che sono tipo dei frattali, ossia in ogni elemento c'è una serie di elementi sempre più piccoli per le frequenze più grandi etc.



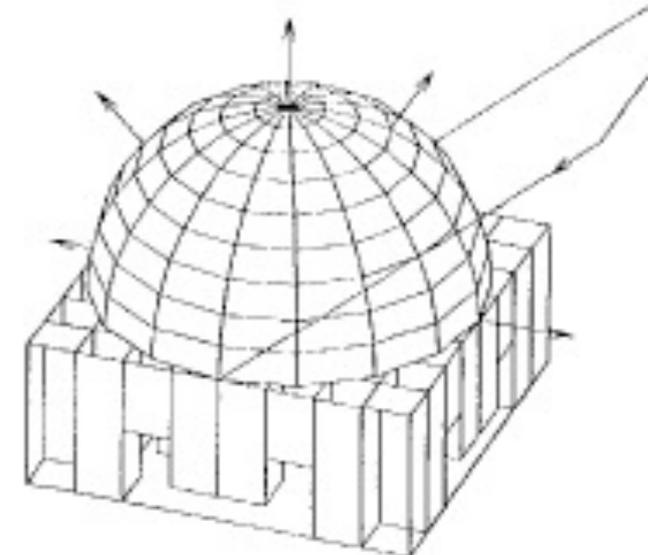


# Diffusori in 2d

La distribuzione spaziale delle riflessioni provocate da questo tipo di diffusori è a semicerchio ossia in due dimensioni. Per avere una distribuzione sferica bisognerà utilizzare diffusori in tre dimensioni come l'Omniffusor RPG.



A



B

Schema dell'omniffusor

differenza tra QRD/  
primitive-root  
e Omniffusor in 2d



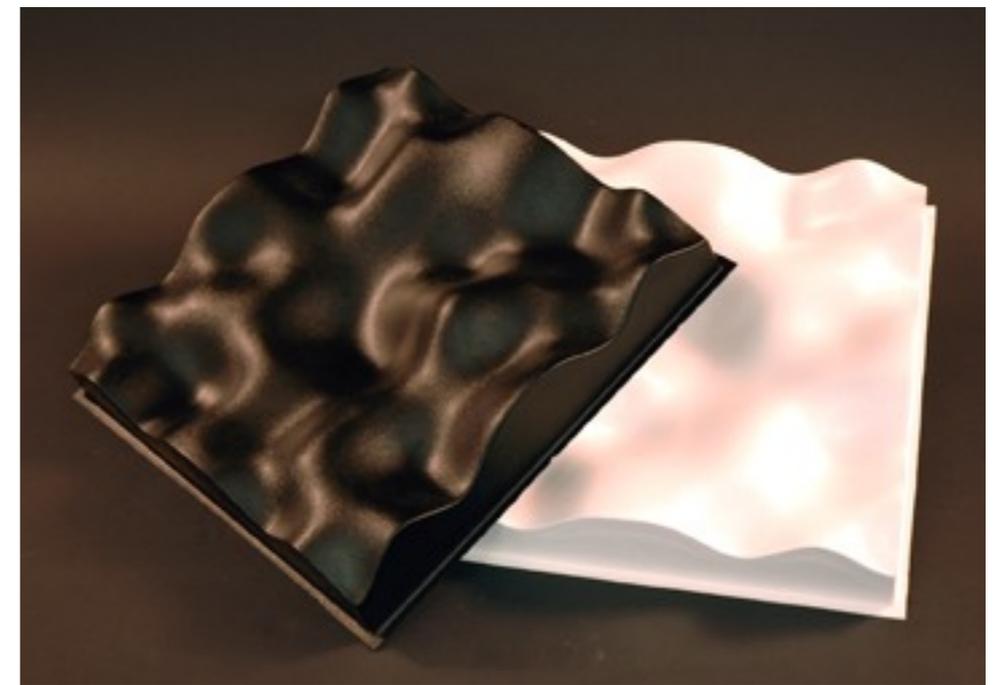
# Diffusori a linee curve

Quando si progetta un diffusore bisogna considerare sia le sue proprietà acustiche che quelle estetiche, e spesso queste sono in conflitto.

Nel design degli ultimi anni sono tornate di moda le linee curve, e si sono trovate nuove soluzioni estetiche per diffondere il suono, sul retro di uno studio o un soffitto di un teatro.

Con simulazioni al computer basate sul calcolo numerico si possono trovare forme curve ottimizzate per la diffusione.

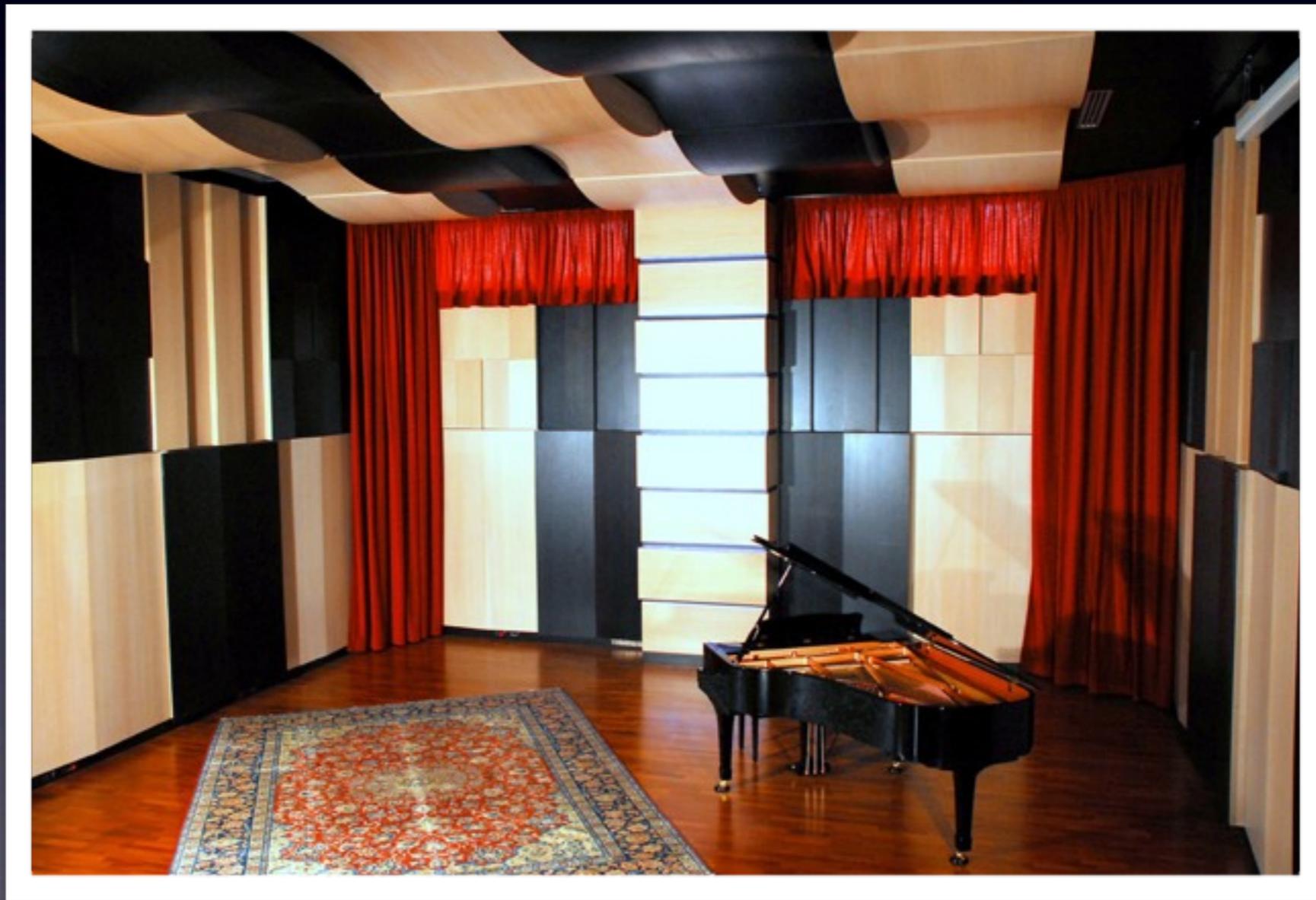




# *Acoustic* design

## Alcuni studi di registrazione

# International Sound Studio, Conversano (BA)



# L'International Sound Studio di Conversano (BA) comincia in un classico capannone industriale.

In questo posto siamo stati in grado di sfruttare tutta l'altezza e lo spazio necessari per uno studio di registrazione senza compromessi.

Si cominciano  
a creare le  
“stanze nelle  
stanze” ovvero  
i “box-in-the-  
box”



Pareti ben staccate dalla  
struttura portante, o attaccate  
tramite supporti di tipo elastico



La muratura delimita tutta la sala di ripresa, ogni stanza ha una sua muratura e queste non si toccano tra loro







**Materiale elastico  
tra le due murature**

**Si usa anche piombo  
per l'isolamento**







Cablaggio: attenzione a non fare  
anelli tra cavi elettrici e cavi  
audio!



# Cablaggio “sotterrato” da sabbia



Ogni sala ha un “suo”  
pavimento:  
la sabbia è un materiale  
ottimo dal punto di  
vista acustico e molto  
economico.





Sopra la sabbia si pone  
l'MDF (medium density,  
circa 800 Kg/m<sup>3</sup>)

Si cominciano a  
costruire i mobili  
per lo studio





Il soffitto ha un profilo particolare: questo tipo di soffitto è chiamato “a compressione”: lavora sulle prime riflessioni.

Dopo il punto di ascolto  
il soffitto non comprime  
più e risale, aumentando  
il volume della stanza e la  
sua ariosità

L'operatore si trova  
sotto il soffitto a  
compressione



# Telai per la tela tesata

Gli angoli si “smussano”  
e si costruiscono quelle  
che si chiamano in gergo  
“bass traps”





**Le finestre vengono  
poste elasticamente su  
telai indipendenti poggiati  
su murature indipendenti**

**Si inclinano i vetri per evitare  
l'effetto specchio e anche per  
evitare risonanze interne**



Nelle finestre vengono messi materiali fonoassorbenti per evitare che si trasformino in cavità risonanti, e sali per evitare l'umidità e quindi l'appannamento

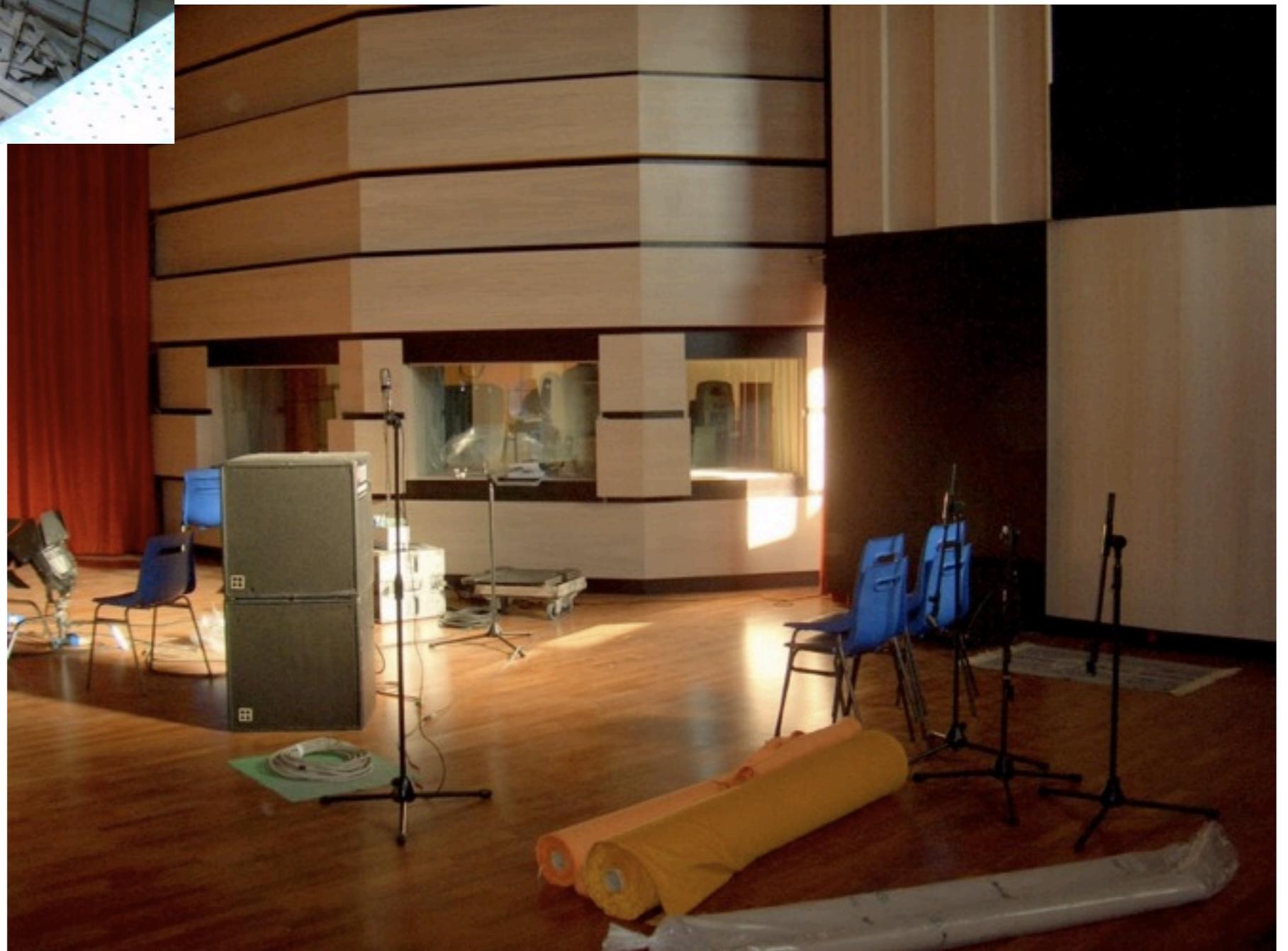




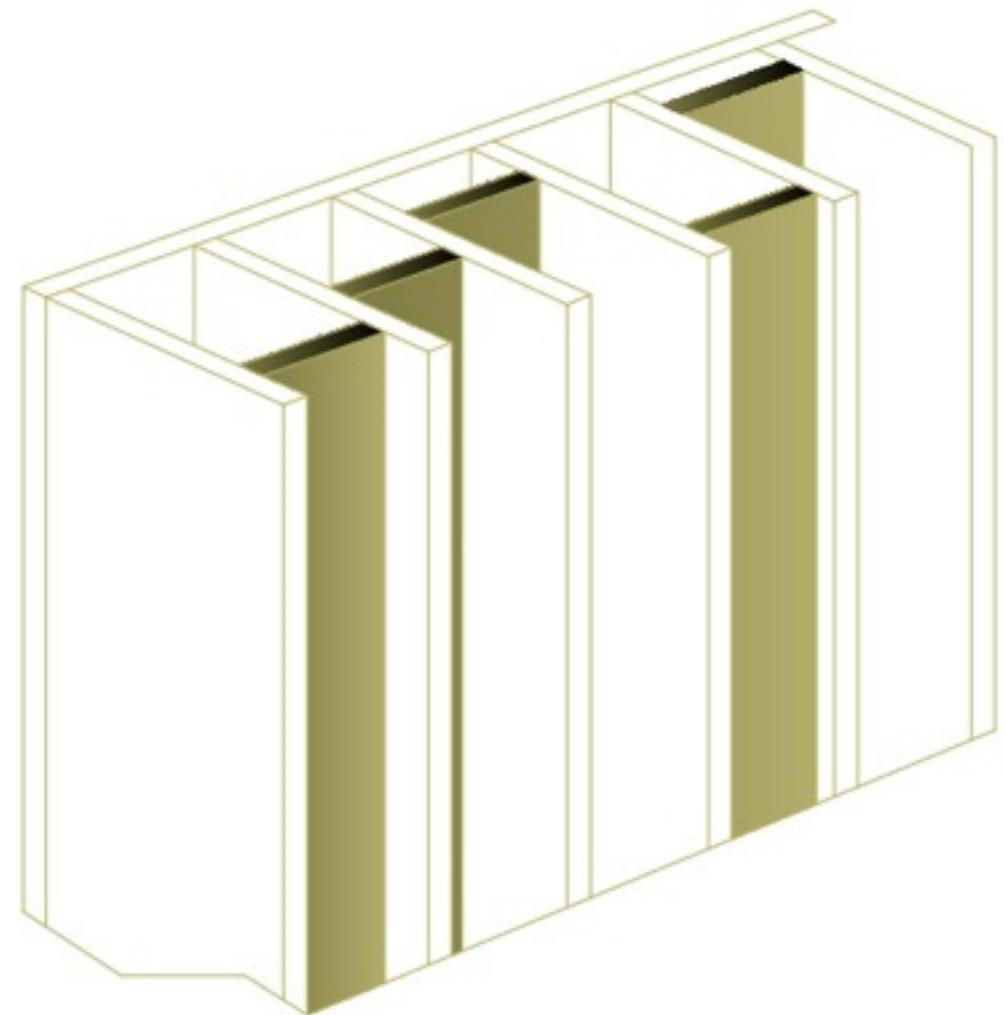
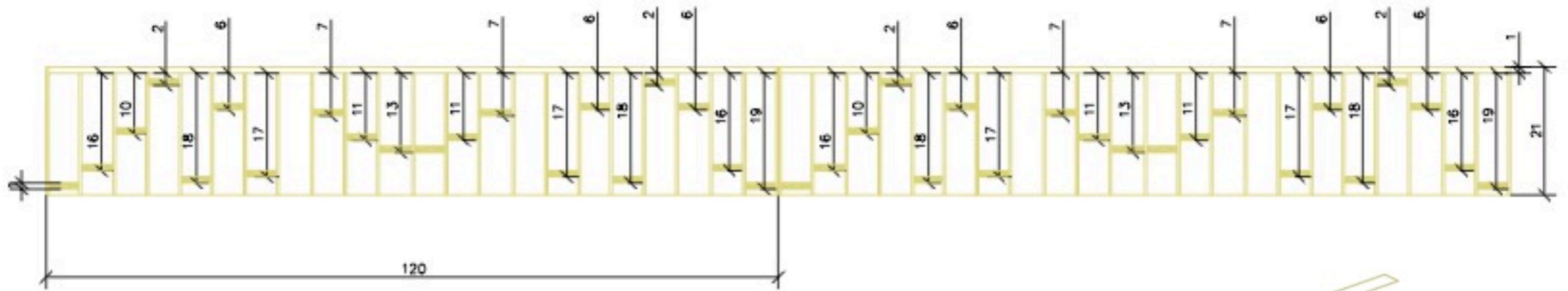


Dopo la muratura c'è il trattamento acustico dell'interno, in questo caso sono stati costruiti rivestimenti e dispositivi acustici in legno, e usati tendaggi di velluto

Qui si stavano facendo delle misurazioni acustiche per verificare in corso d'opera la qualità acustica prima di approntare le ultime correzioni

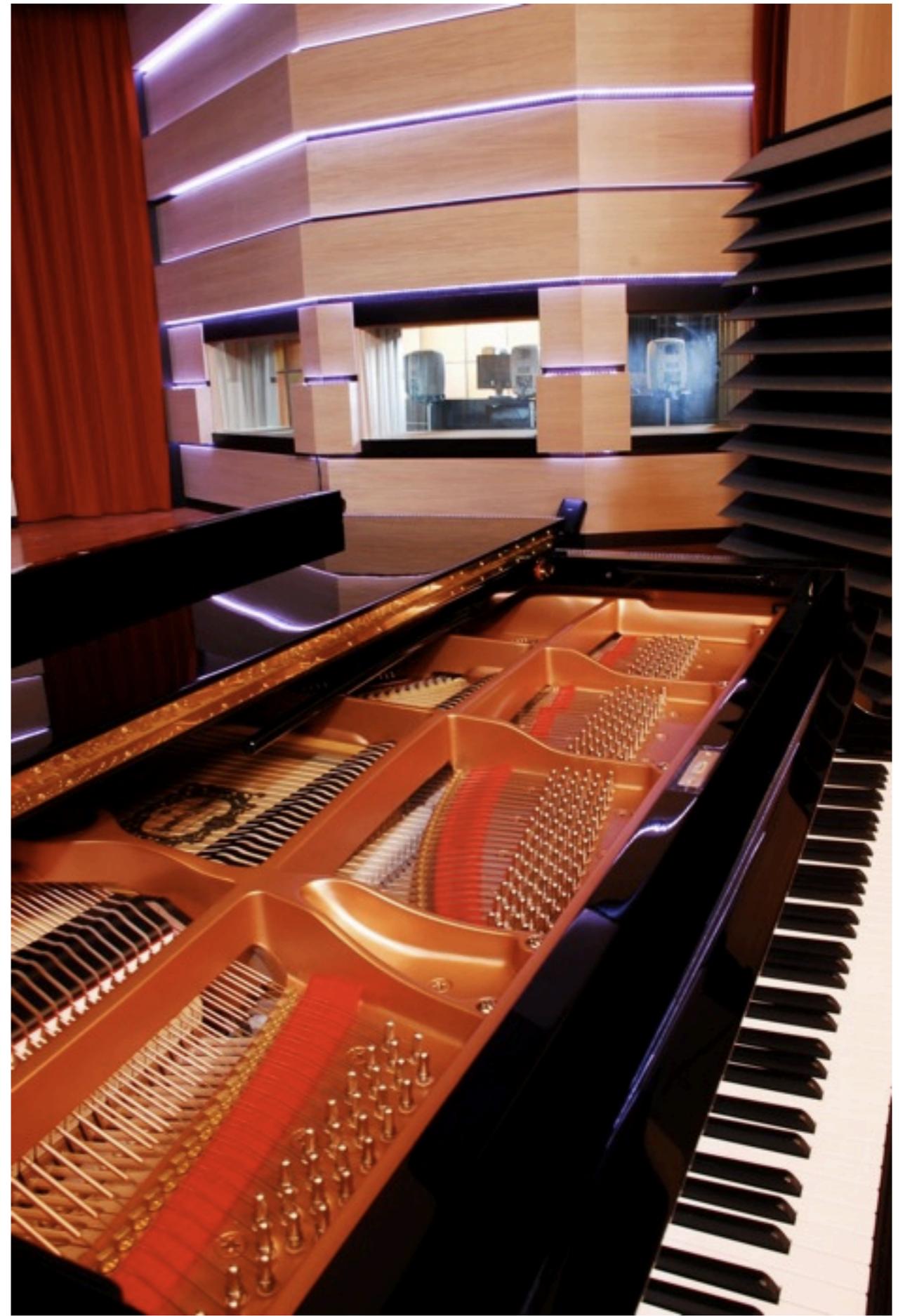


Diffusore sezione vista dall'alto  
sezioni di 5 cm., spessore sezioni 0,4 mm.  
esterno 10 mm.



# Sala di ripresa conclusa





# Sala di regia conclusa







# Studio Stornelli Avezzano (AQ)



## Isolamento acustico:

questo studio non è stato costruito in una struttura molto più grande, ma si è dovuto lavorare sullo spazio a disposizione, creando sempre il box-in-the-box



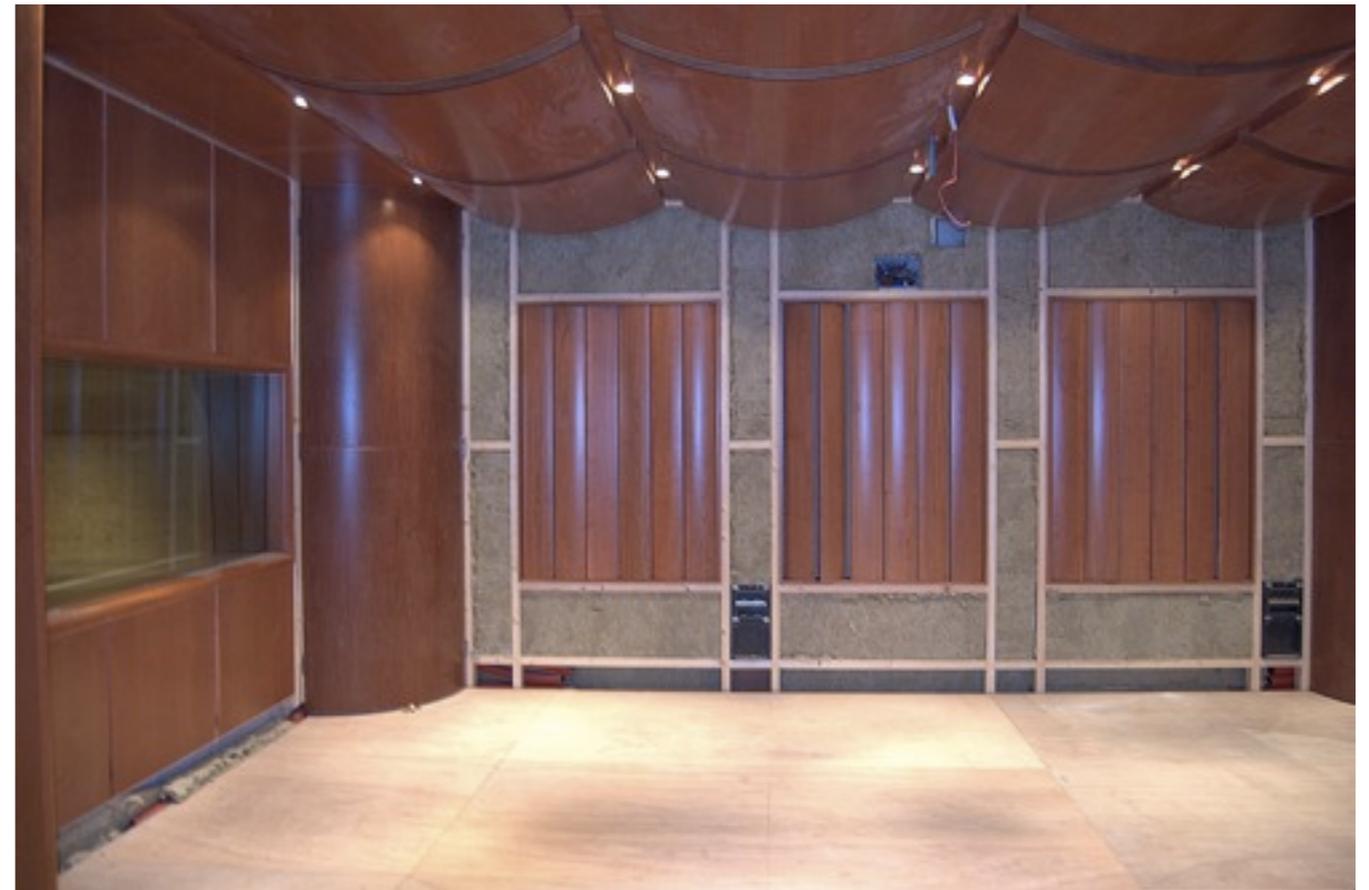
**Areazione: i canali dell'aria non possono essere tanto piccoli altrimenti la velocità dell'aria sarebbe alta e dalle grate si sentirebbe rumore (il soffio dell'aria).**



## Elementi di acustica variabile



Il resto del muro è  
rivestito da lana di roccia  
e tela tesata su un telaio  
di listoni di abete



Acustica variabile: dietro i pannelli rotanti lisci c'è materiale fonoassorbente.



# Sala di ripresa ultimata



Il fronte della regia è riflettente,  
mentre la parte laterale è assorbente



# Main-monitor e posizione operatore sono gli elementi fondamentali su cui partire per il disegno di uno studio di registrazione



# Retro dello studio: ancora assorbimento ma soprattutto diffusione con il QRD



# Regia quasi ultimata

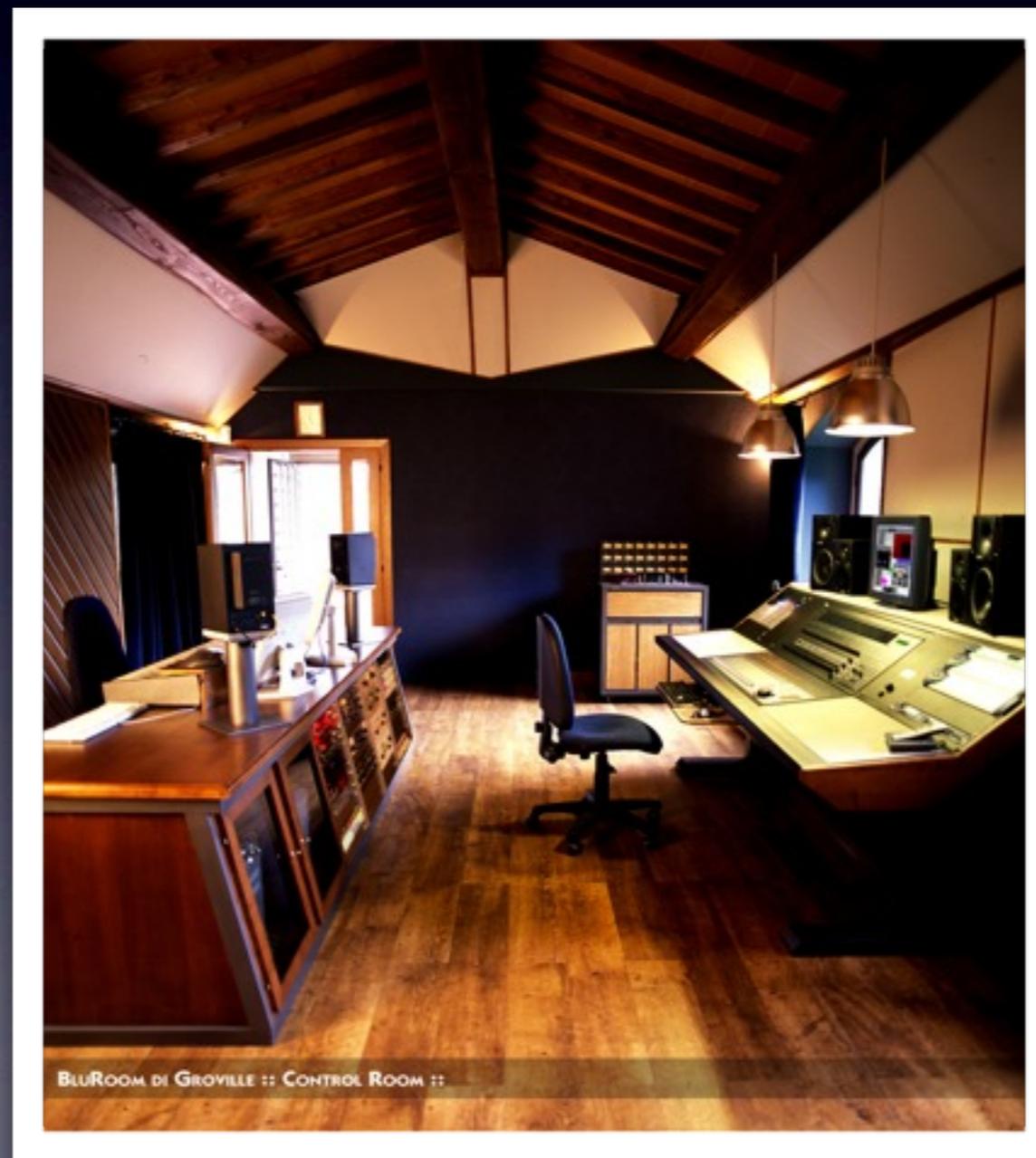




# Regia ultimata



# Blu Room Studio di Manzani, Poppi (FI)





BLURoom di GROVILLE :: CONTROL ROOM ::



BLURoom DI GROVILLE :: CONTROL ROOM ::



BLURoom DI GROVILLE :: CONTROL ROOM ::

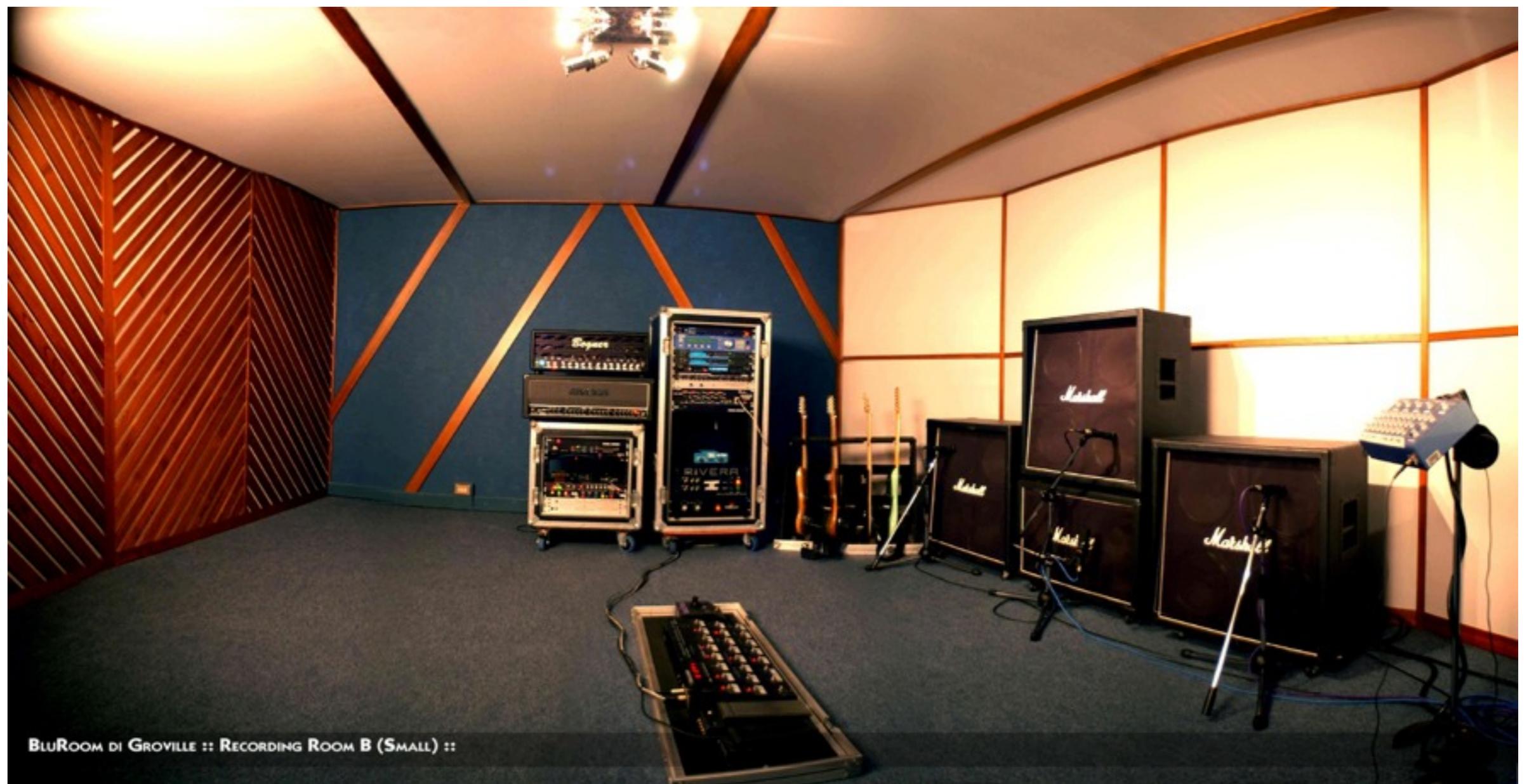


Tende di velluto  
pesante davanti alle  
finestre



# Sala ripresa

Notare la soluzione delle stecche oblique per diffusione



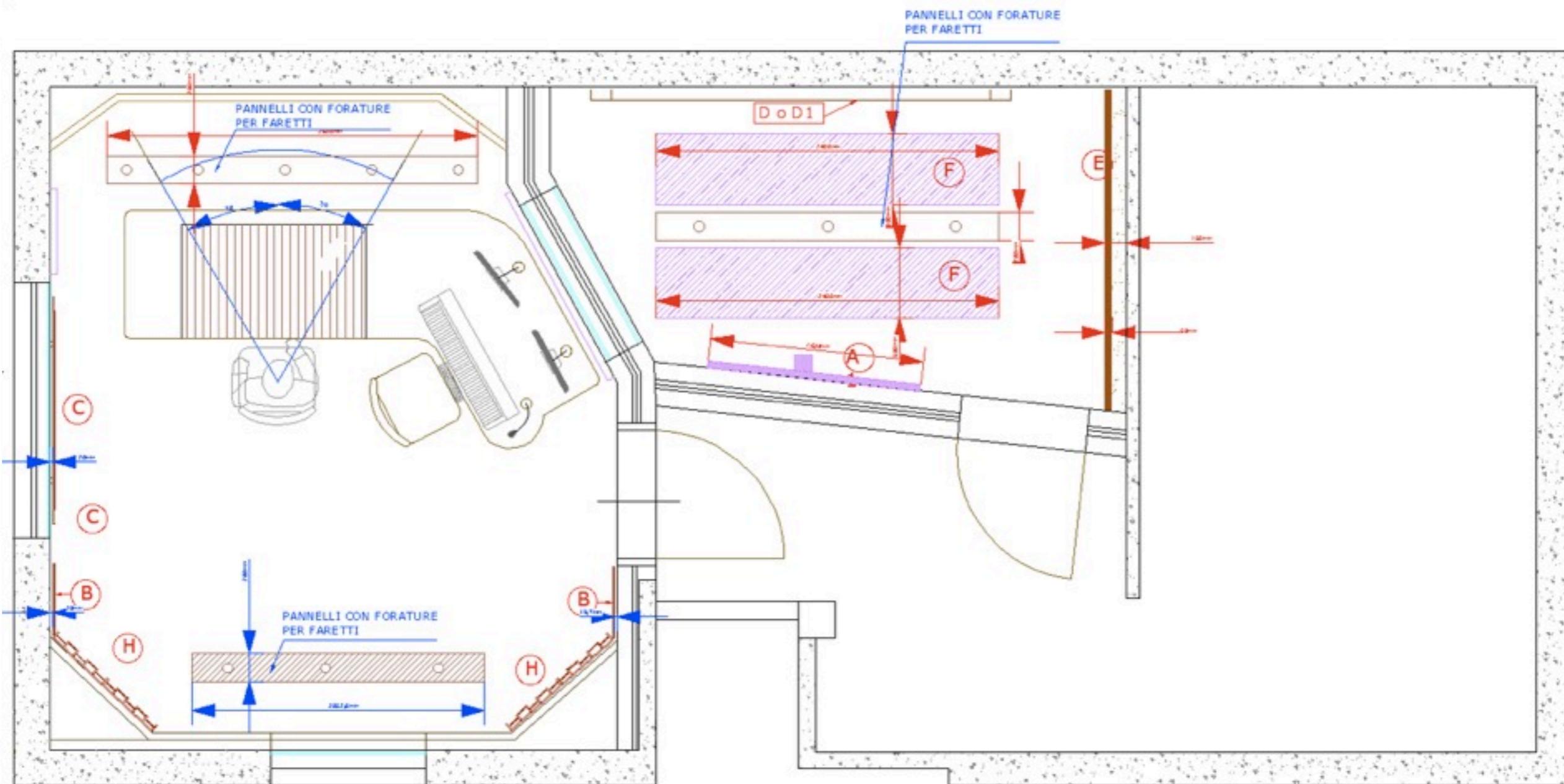


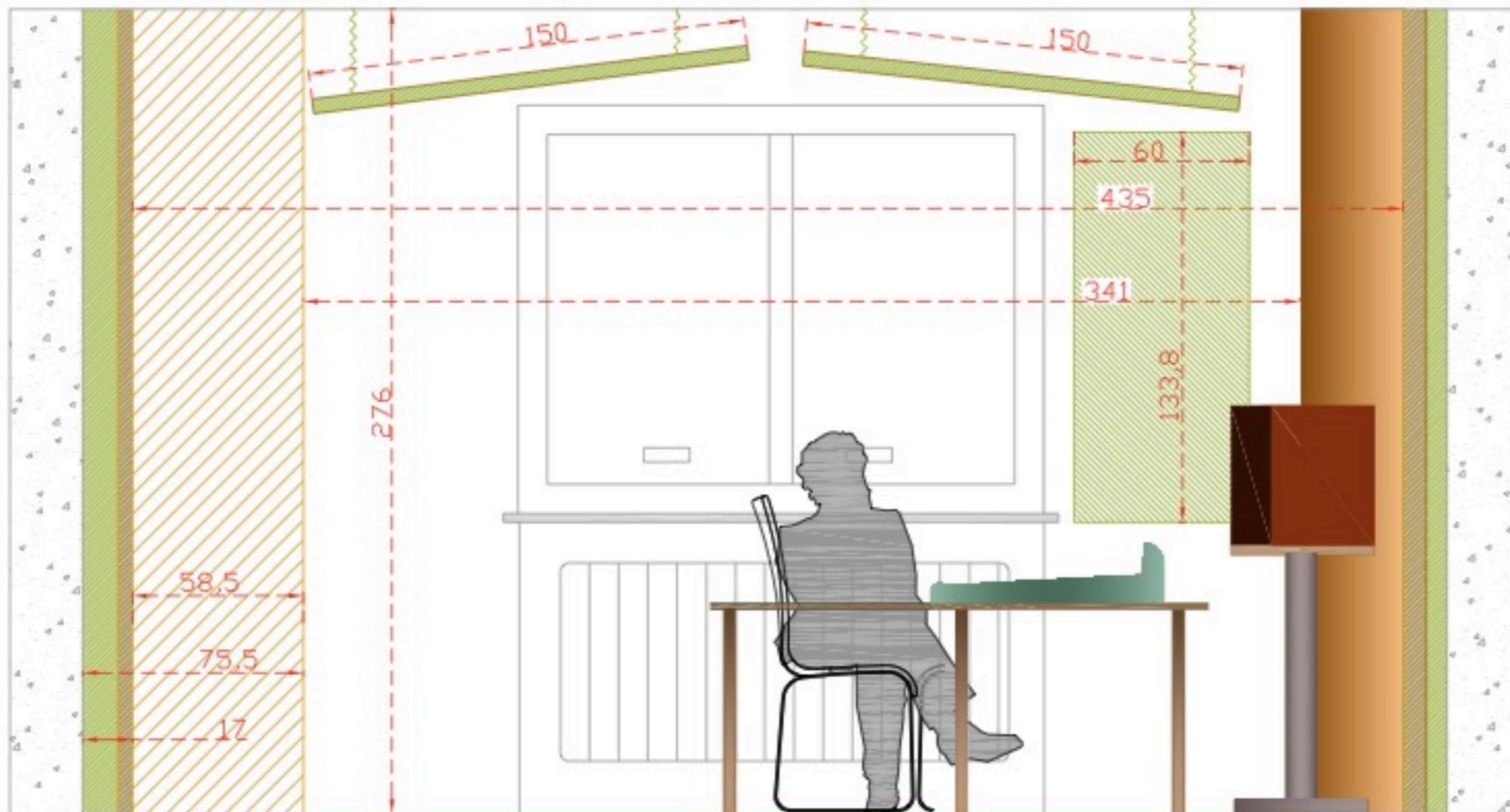


BLUROOM DI GROVILLE :: RECORDING ROOM A (BIG) ::

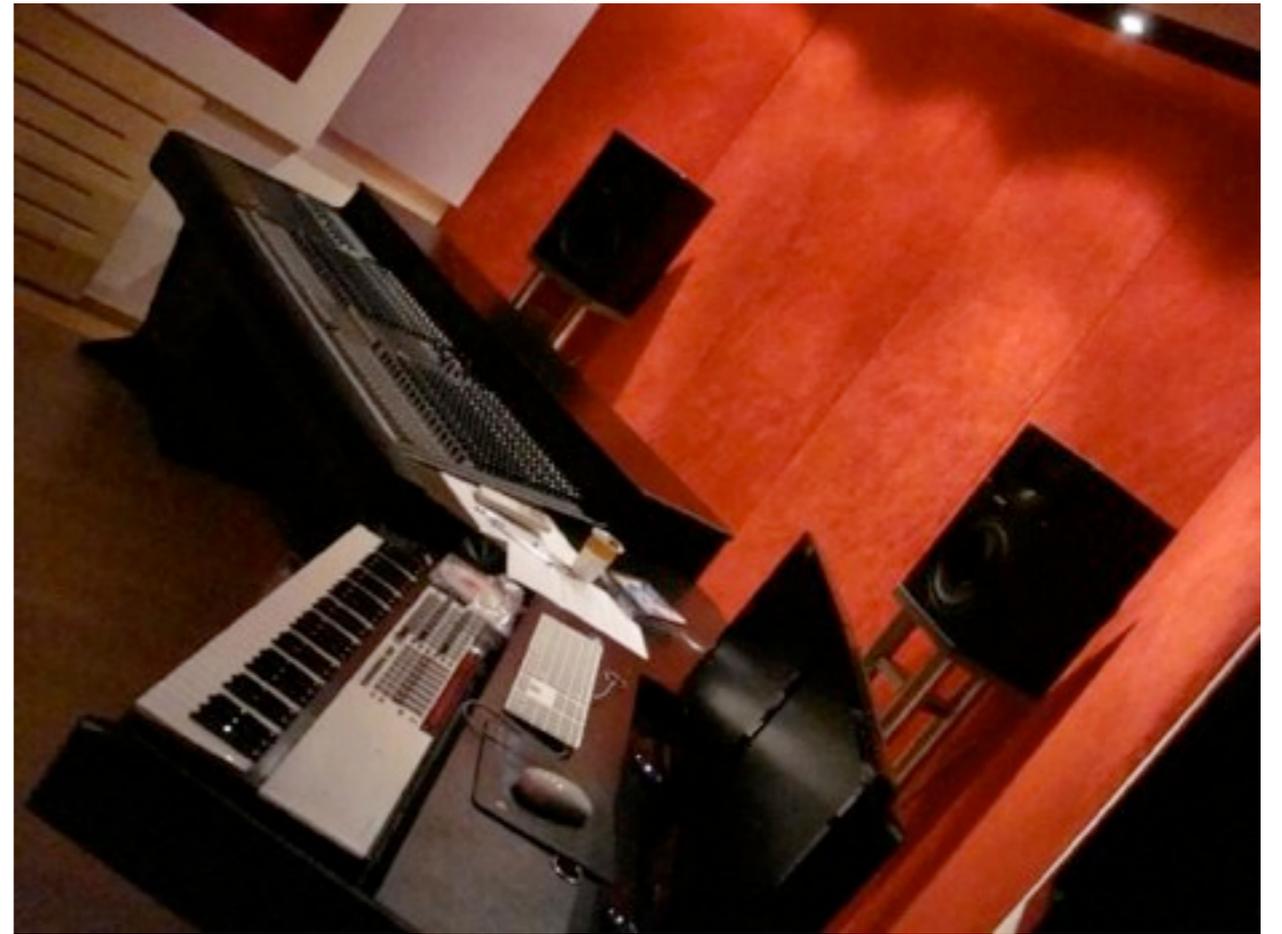
# Studio Millbeats, Certaldo (FI)

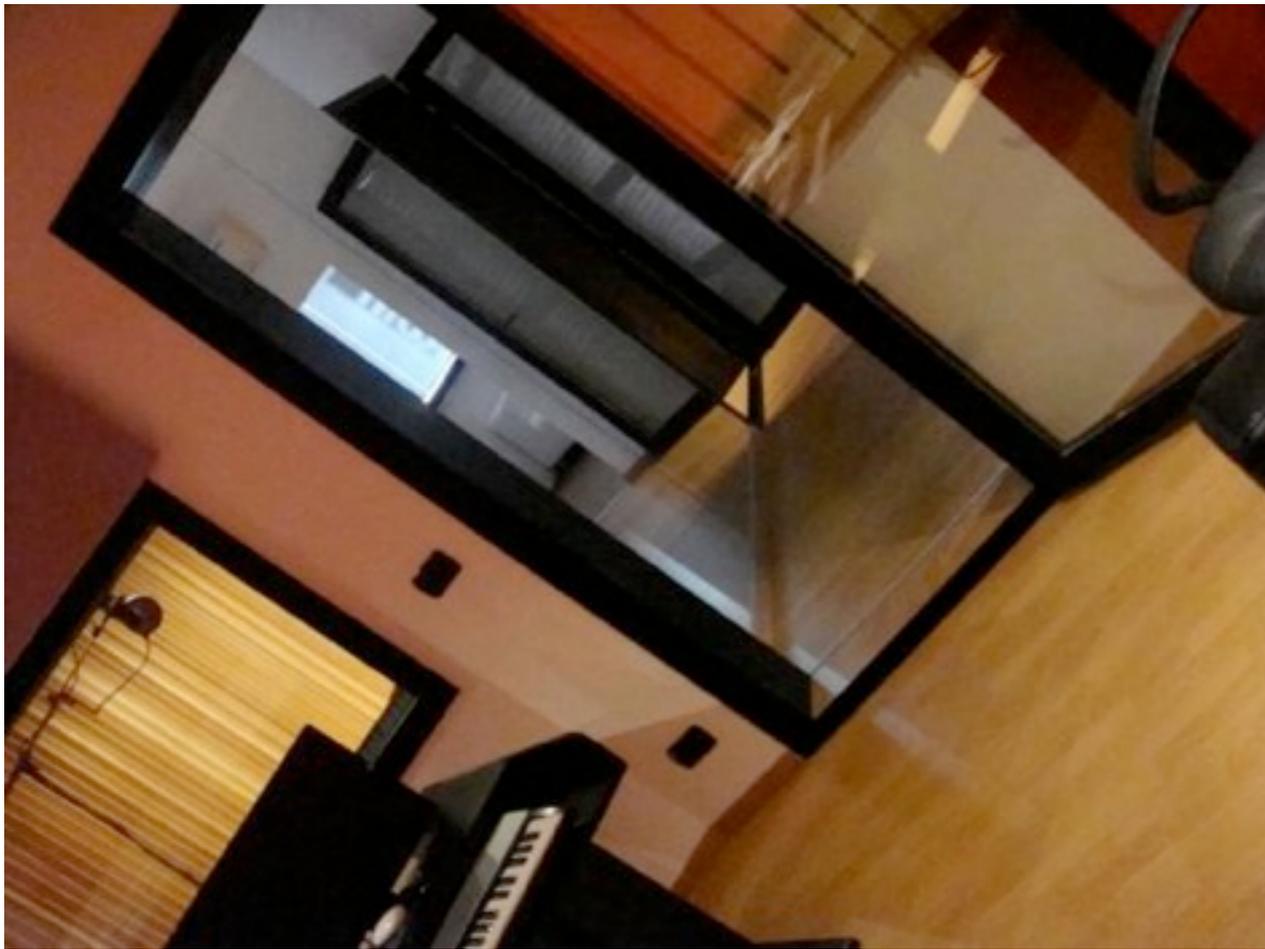






LATO SINISTRO REGIA





# Bibliografia e testi di riferimento

- A. Everest: “The Master Handbook of Acoustics” 4th ed.
- L. Beranek: “Concert Halls and Opera Houses - Music, Acoustics, and Architecture” 2nd ed.
- L.E. Kinsler: “Fundamentals of Acoustics” 4th ed.
- M. Long: “Architectural Acoustics”
- D. Egan: “Architectural Acoustics”
- T.J. Cox, P. D’Antonio: “Acoustic Absorbers and Diffusers - Theory, design and application” 2nd ed.