STUDIO
SOUND
SERVICE

Progettazione degli studi di registrazione

fisica acustica ed elettroacustica

05/04/2018 - 10/04/2018

dott. Donato Masci – acoustic designer & consultant
ing. Cecilia Torracchi – civil & acoustic engineer
info@studiosoundservice.com

Scarica la presentazione:
http://www.studiosoundservice.com/it/education

Who we are

STUDIO
SOUND
SERVICE
We design places for your sound
Mulinetti – Alberto Parodi @ Genoa
(IT)
Read more

Portfolio

90+ recording and audio-video (post)production facilities
Lavori privati per artisti come *Andrea Bocelli, Eros Ramazzotti, Ligabue, Piero Pelù + Litfiba, Enrico Cremonesi, Mogol, Venditti, Marco Masini, Homo Sapiens, Planet Funk, Renato Zero.*
Progettazione di chiese, teatri, auditoria, sale conferenza, home-theater.

Tra i progetti più importanti si riportano:

- Barys Arena (ice hockey) @ Astana, Kazakhstan;
- Studi FOX post-produzione a/v @ Hammersmith, London (UK);
- Mulinetti Studio @ Genova (**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) (**Resolution Award 2013 — Best Audio Facility**, Nomination);
- PPG Studios (Andrea Bocelli) @ Santo Pietro Belvedere (PI);
- In House (sala mix cinema Dolby® approved) @ Roma;

  (sound design for “La Grande Bellezza” di Sorrentino, 2014 Oscar, HBO series Sorrentino 2016)
- George Lucas Home Theater, Italy;
- Chiesa di Santa Maria Nuova (Arch. Mario Botta) @ Terranuova Bracciolini (AR);
- Prada Auditorium and Conference Room via Orobia @ Milano;
- Sala Proiezioni Museo Ferrari @ Maranello (MO).

Il Fenomeno Sonoro

Sorgente Mezzo Ascoltatore

(zona di trasmissione)

1 2 3

Il Mezzo elastico

Il suono richiede un mezzo elastico in cui propagarsi.

Il **suono nell'aria**: le particelle di materia coinvolta nel trasporto del suono fluttuano attorno ad una posizione di equilibrio e il loro moto è parallelo alla direzione dell'onda:
onde longitudinali.

In altri mezzi il suono si può propagare sotto forma di onde di tipo trasversale.

Velocità del suono

La velocità del suono è la velocità con cui un suono si propaga in un certo ambiente, detto mezzo.
La velocità del suono varia a seconda del mezzo (ad esempio, il suono si propaga più velocemente nell'acqua che non nell'aria), e varia anche al variare delle proprietà del mezzo, specialmente con la sua temperatura.

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{343}{\lambda}$$

Velocità del suono

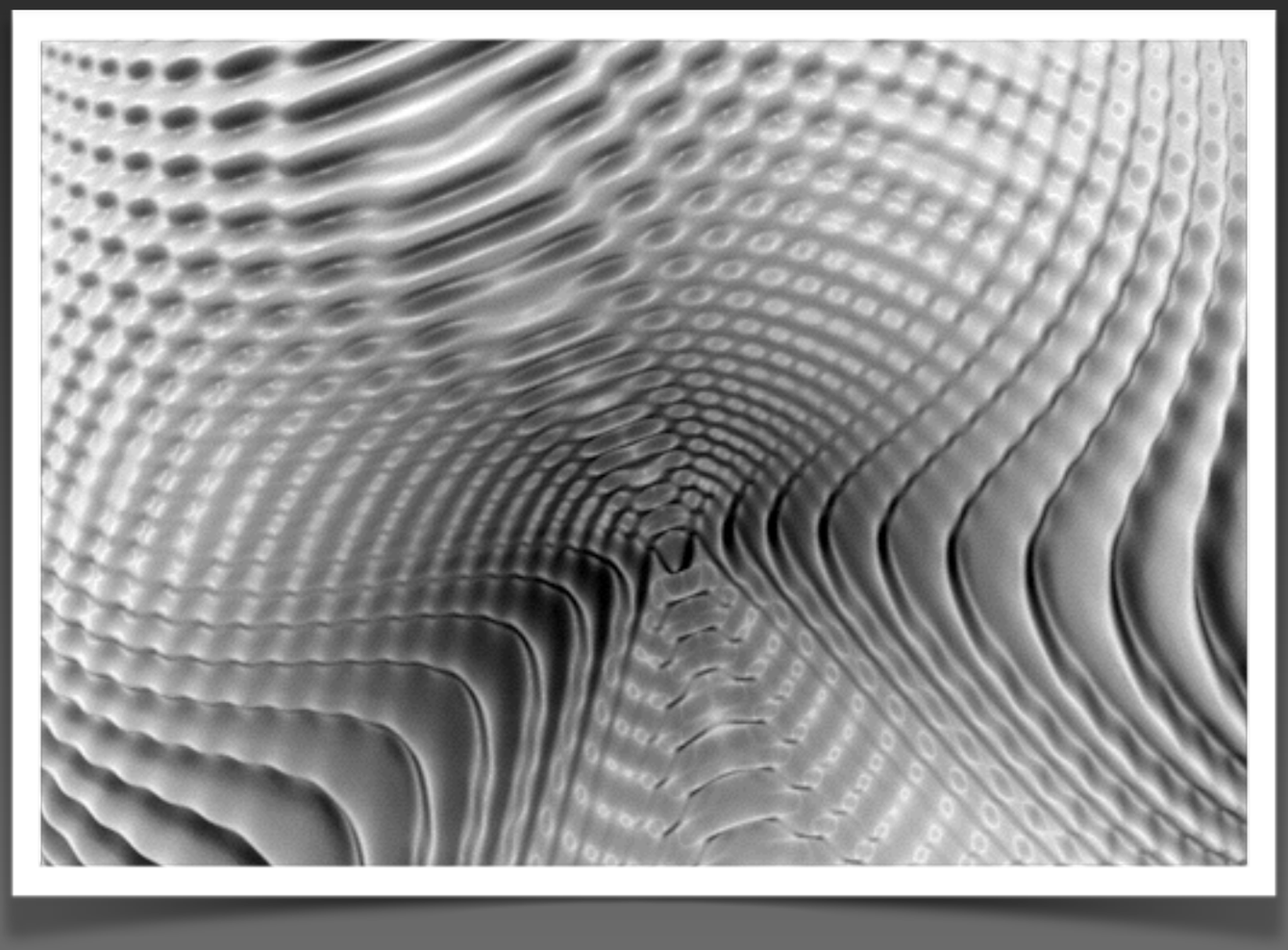
La velocità del suono è la velocità con cui un suono si propaga in un certo ambiente, detto mezzo.
La velocità del suono varia a seconda del mezzo (ad esempio, il suono si propaga più velocemente nell'acqua che non nell'aria), e varia anche al variare delle proprietà del mezzo, specialmente con la sua temperatura.

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{343}{\lambda}$$

Influenza della temperatura dell'aria sulla velocità del suono			
T in °C	*a* in m/s	*ρ* in kg/m³	*Z* in N·s/m³
−10	325,4	1,341	436,5
−5	328,5	1,316	432,4
0	331,5	1,293	428,3
+5	334,5	1,269	424,5
+10	337,5	1,247	420,7
+15	340,5	1,225	417,0
+20	343,4	1,204	413,5
+25	346,3	1,184	410,0
+30	349,2	1,164	406,6

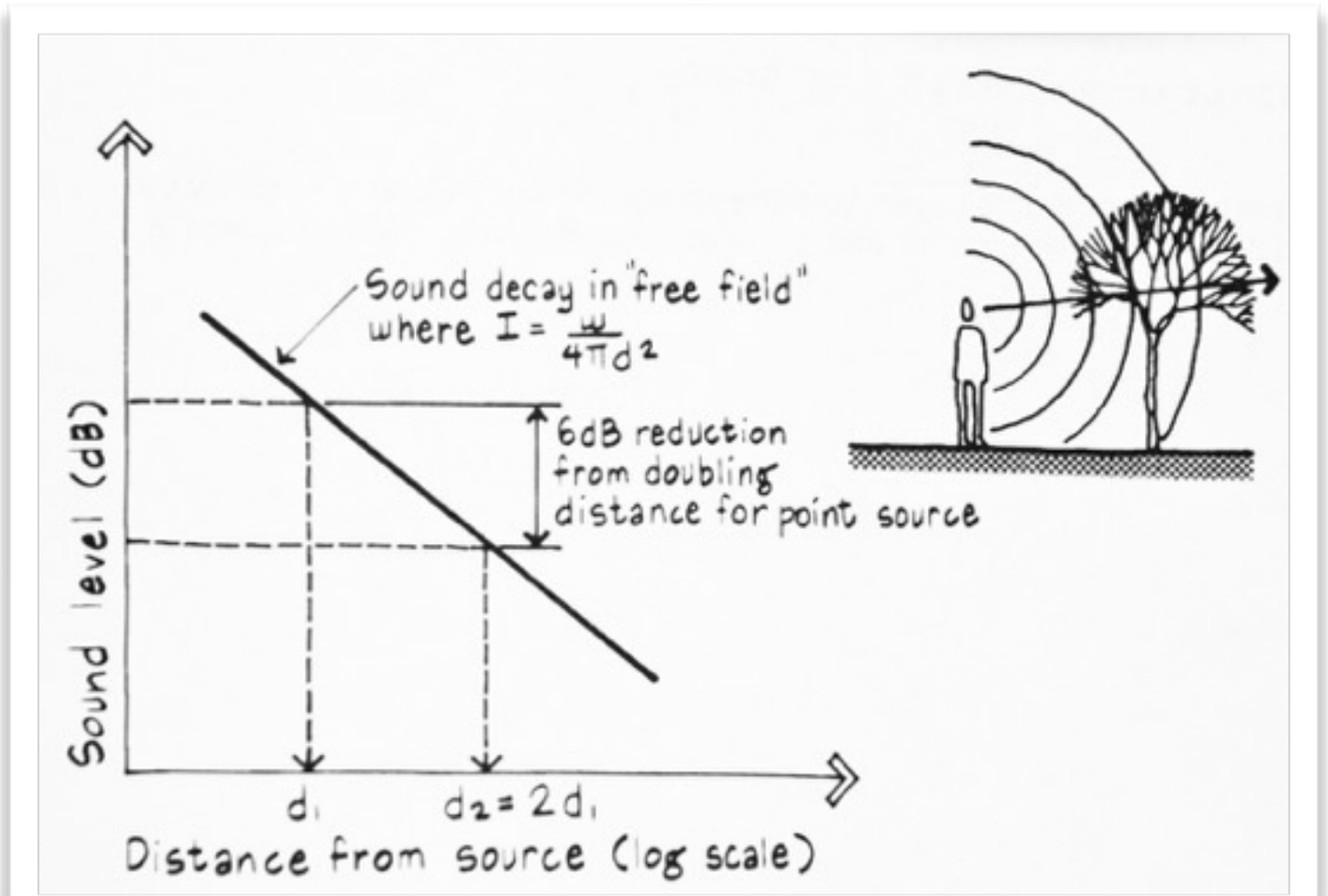
Materiali	Velocità del suono [m/s]
Aria	343
Acqua	1 480
Ghiaccio	3 200
Vetro	5 300
Acciaio	5 200
Piombo	1 200
Titanio	4 950
PVC (morbido)	80
PVC (duro)	1 700
Calcestruzzo	3 100
Faggio	3 300
Granito	6 200
Peridotite	7 700
Sabbia (asciutta)	10-300

Propagazione del suono

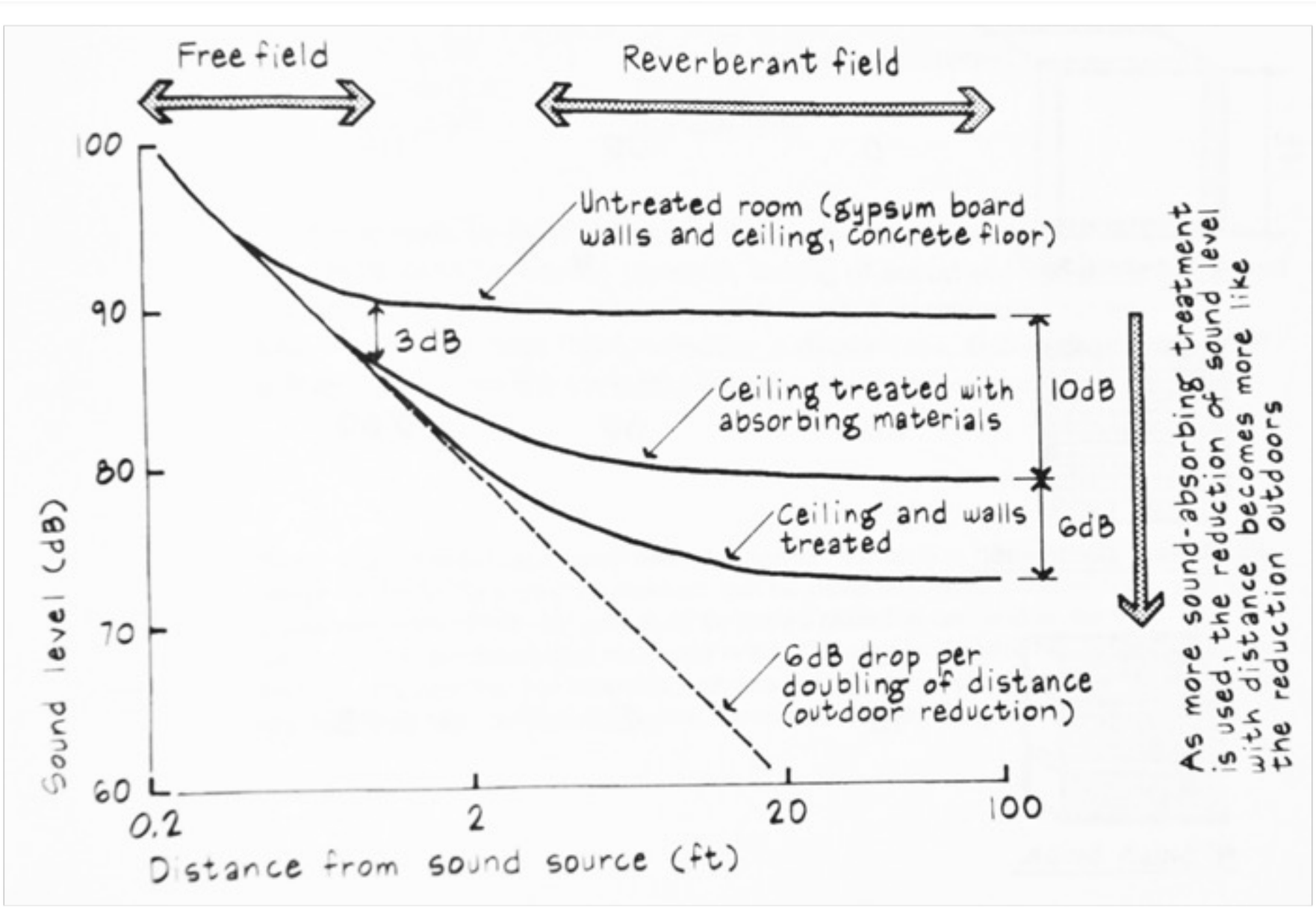


Attenuazione del suono con la distanza in campo libero

In *campo libero* il suono decade di 6 dB per ogni raddoppio della distanza.



Attenuazione del suono con la distanza in un ambiente



Il decadimento del suono in un ambiente chiuso dipende dalle proprietà ***assorbenti***, ***riflettenti*** **e** ***diffondenti*** delle superfici che lo costituiscono.

(muri, pavimenti pareti, oggetti, persone etc)

Livelli sonori ambiente chiuso

Ambiente chiuso

Campo riverberante $$L_p \cong L_W + 10\log\frac{4}{A}$$

Campo semiriverberante $$L_p \cong L_W + 10\log\left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R}\right)$$

dove $$R = 10\log\frac{1}{\tau} = 10\log\frac{1}{\alpha - \delta} = \frac{\bar{\alpha}\cdot S}{1-\bar{\alpha}} = \frac{S\cdot A}{S-A}$$

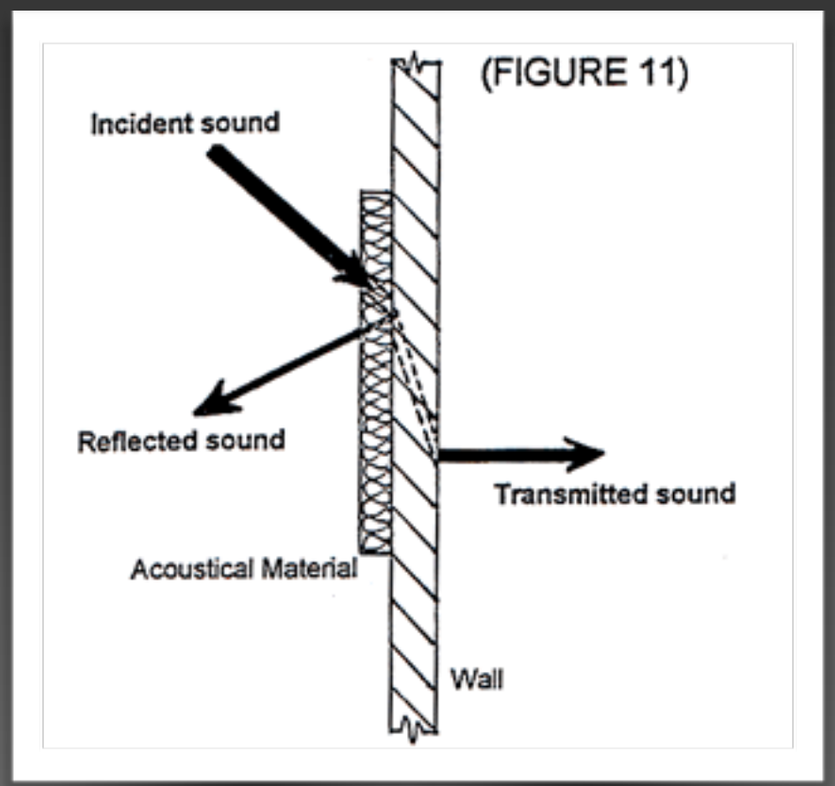
e Q è il fattore direttività della sorgente

per sorgenti omnidirezionali è 1

Se l'ambiente chiuso è riverberante, il livello di pressione sonora è (con buona approssimazione) lo stesso in tutti i punti.

(L_p non dipende da r)

Proprietà dei Materiali:
assorbimento, riflessione e diffusione

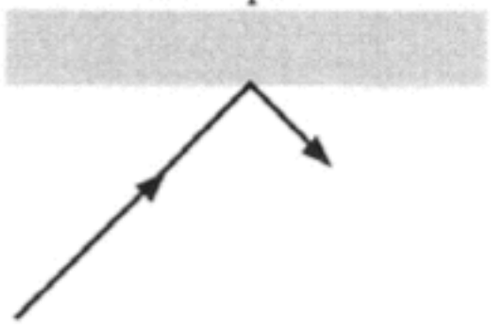


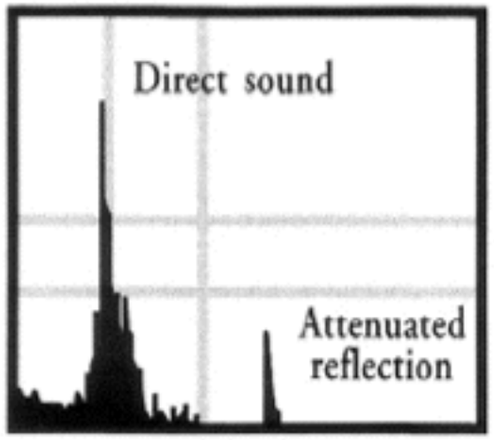
Acoustical treatment

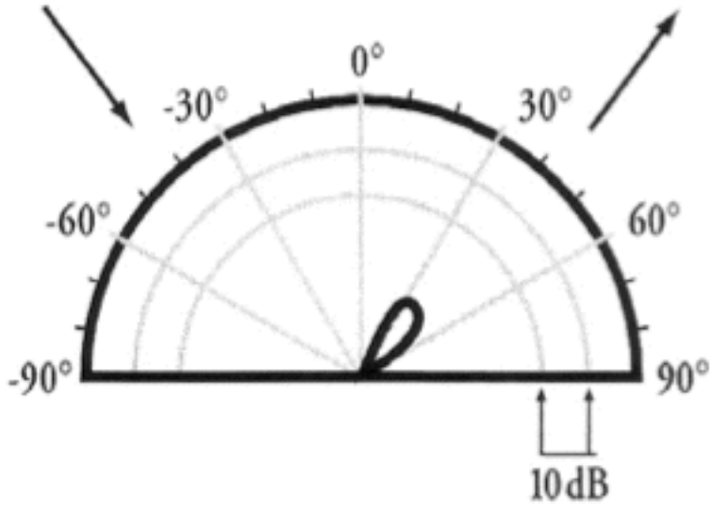
Temporal response

Spatial response

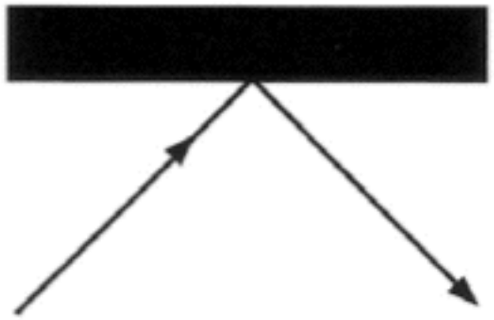
Absorption

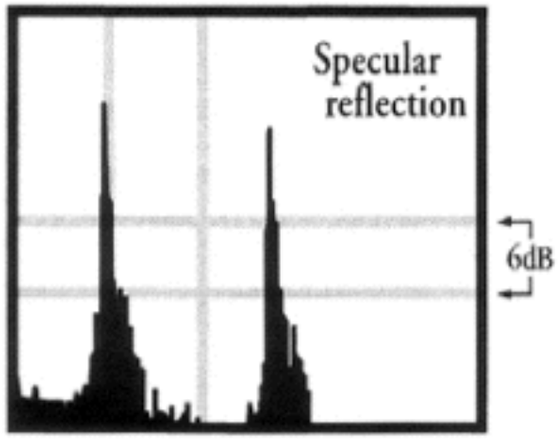


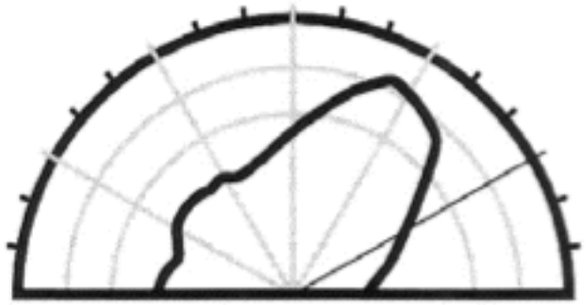




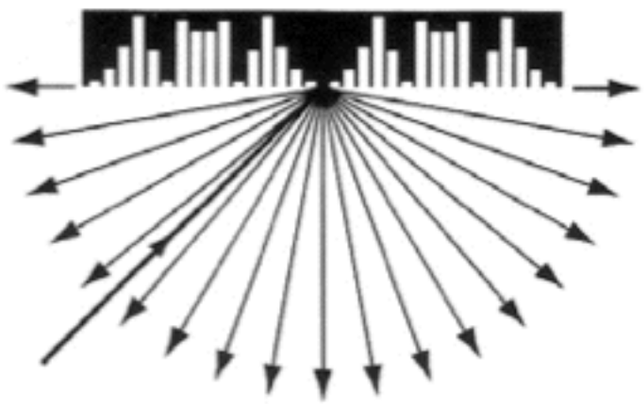
Reflection

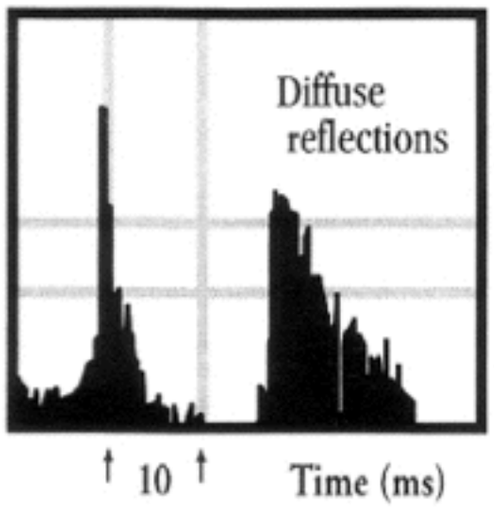


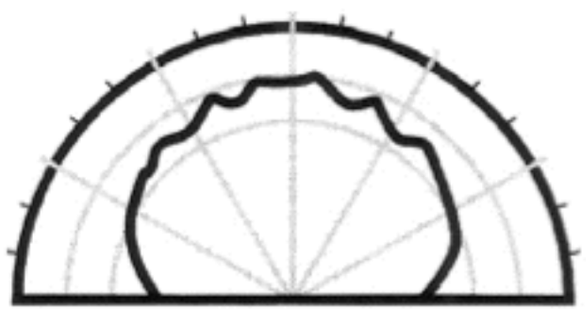




Diffusion

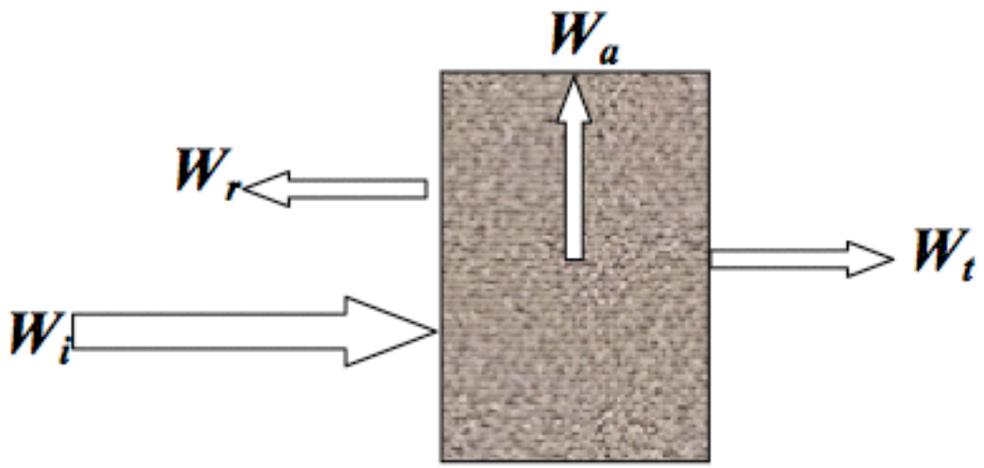






Le proprietà di assorbimento, riflessione e diffusione acustica influiscono sulle caratteristiche **temporali** e **spaziali** dell'ambiente.

In un ambiente chiuso la porzione di energia riflessa dalle superfici di confine dipende dal loro comportamento acustico, in generale descritto dai coefficienti di riflessione, assorbimento e trasmissione:



Bilancio energetico per il teorema della conservazione dell'energia:

$$W_i = W_r + W_a + W_t$$

Definisco i coefficienti come rapporti tra energie:

$$r = \frac{W_r}{W_i} \qquad \delta = \frac{W_a}{W_i} \qquad \tau = \frac{W_t}{W_i}$$

Relazione tra i coefficienti:

$$r + \delta + \tau = 1$$

Definizione di coefficiente di assorbimento acustico apparente:

$$\alpha = 1 - \frac{W_a + W_t}{W_i} = 1 - r$$

Assorbimento acustico

Assorbimento acustico
di una superficie:

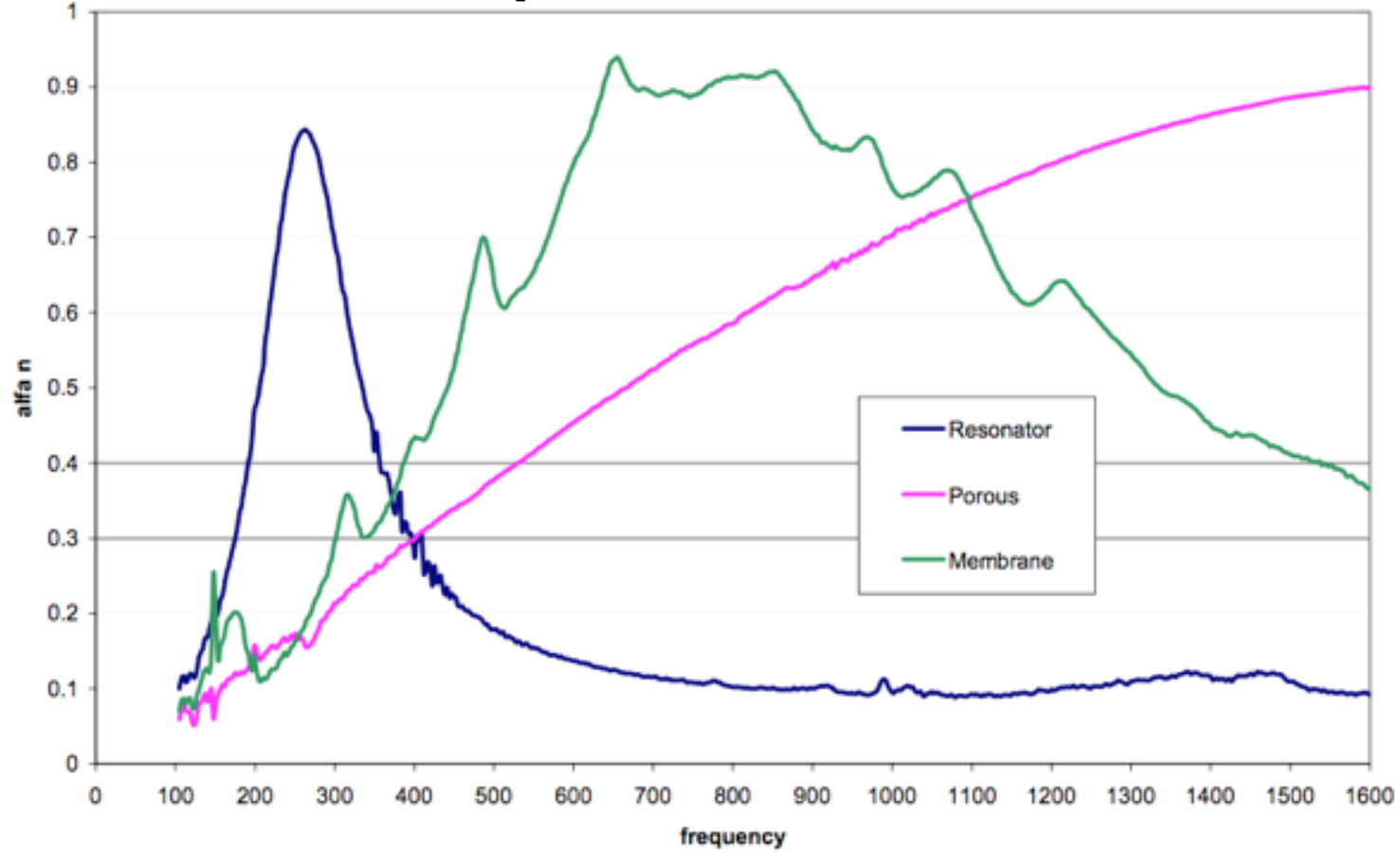
$$A = S \cdot \alpha$$ [m^2]

Assorbimento acustico totale di
una stanza con n superfici:

$$A = S_1\alpha_1 + S_2\alpha_2 + ... + S_n\alpha_n = \Sigma S_i\alpha_i$$ [m^2]

Assorbimento acustico

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



1. Materiali assorbenti per porosità

Assorbono l'energia sonora per un fenomeno di tipo dissipativo legato all'attrito viscoso che si genera tra struttura del materiale e particelle d'aria in moto

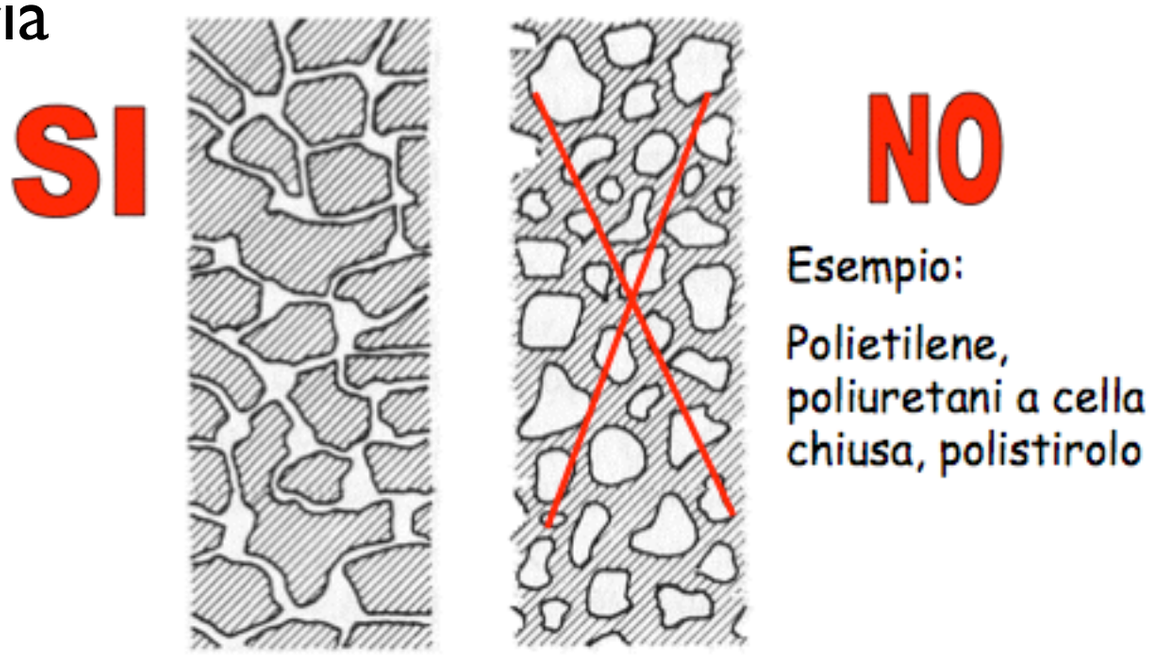
materiali fibrosi (lana di vetro, lana di roccia, fibra di poliestere, feltri fibre di acido polilattico (mais), fibre vegetali (cotone, canapa, cocco, legno, cellulosa etc), fibre animali (lana, piuma d'oca etc))

materiali porosi (o a celle aperte) (poliuretani espansi a cella aperta, resina melamminica, schiuma espansa a base di polietilene, schiume di alluminio, aggregati di elastomeri espansi, altri materiali aggregati tipo pietra, gomma plastica etc)

NON SONO FONOASSORBENTI!!!

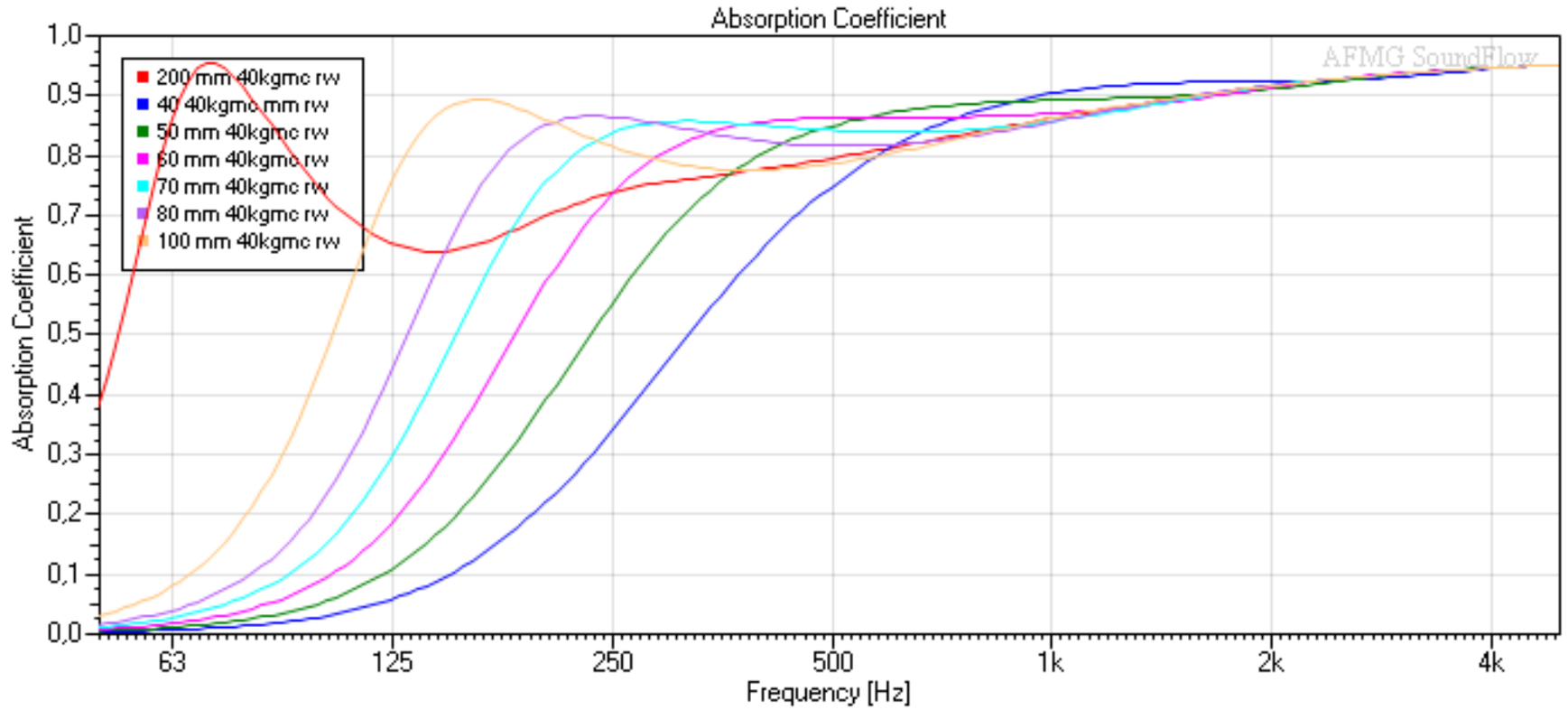
Attenzione perché sul mercato ci sono molti materiali che vengono venduti con esoteriche proprietà fonoassorbenti, quindi è facile sbagliare, in particolare diffidate dai materiali che non hanno almeno uno dei seguenti requisiti:

- contengono un'elevata percentuale di aria al loro intenro, in collegamento con l'ambiente esterno
- consentono al campo acustico di penetrare al loro interno e di dissipare energia per attrito viscoso sulle pareti della struttura del materiale



Effetto dello spessore nell'assorbimento

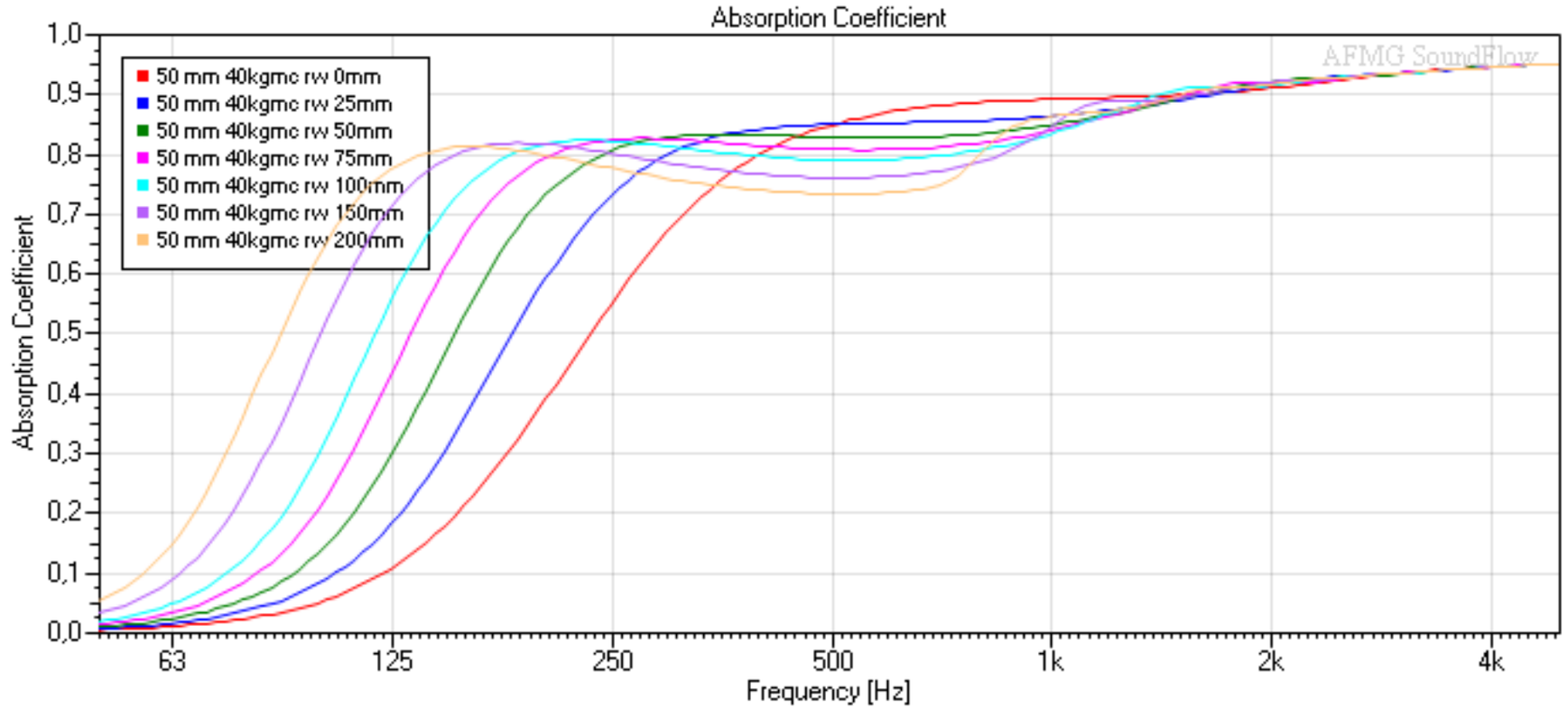
Lo spessore del materiale fonoassorbente aumenta le prestazioni di fonoassorbenza in particolar modo alle basse frequenze.



Attenzione perchè 5 cm di lana di roccia non assorbono praticamente niente sotto i 100 HZ!!!

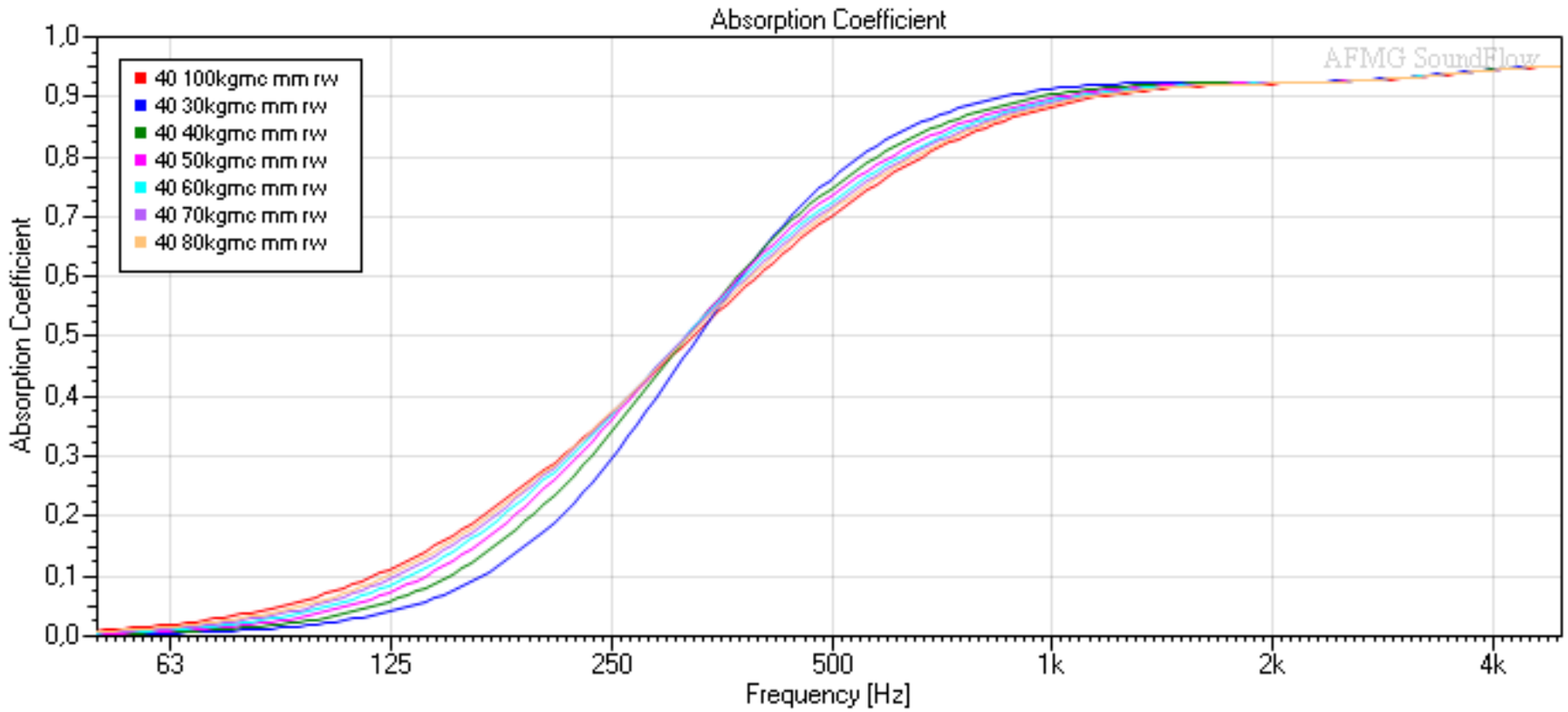
Effetto della camera d'aria nell'assorbimento

Anche la camera d'aria posta tra il materiale e la superficie rigida aumenta le prestazioni di fonoassorbenza in particolar modo alle basse frequenze (un po' meno che lo spessore).

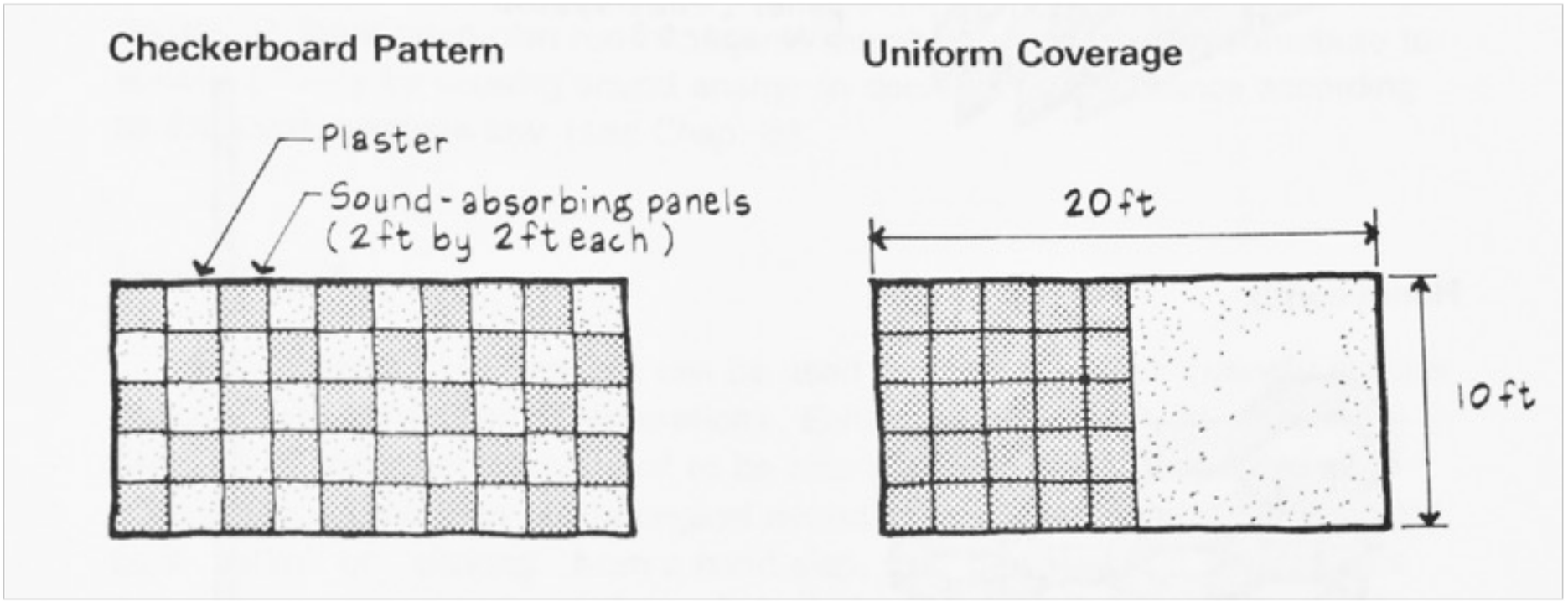


Effetto della densità nell'assorbimento

La densità influisce poco nell'assorbimento: conviene (economicamente) molto di più utilizzare materiali leggeri (max 40 kg/m^3) magari più spessi o montati su camera d'aria.

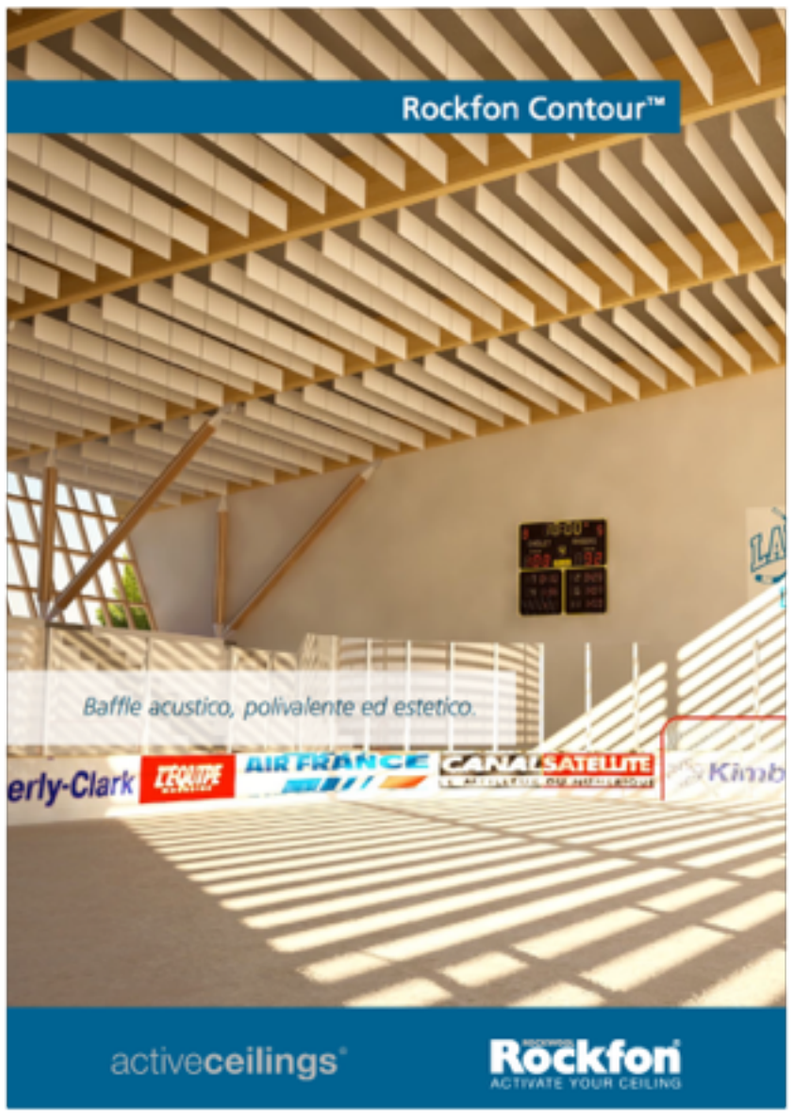


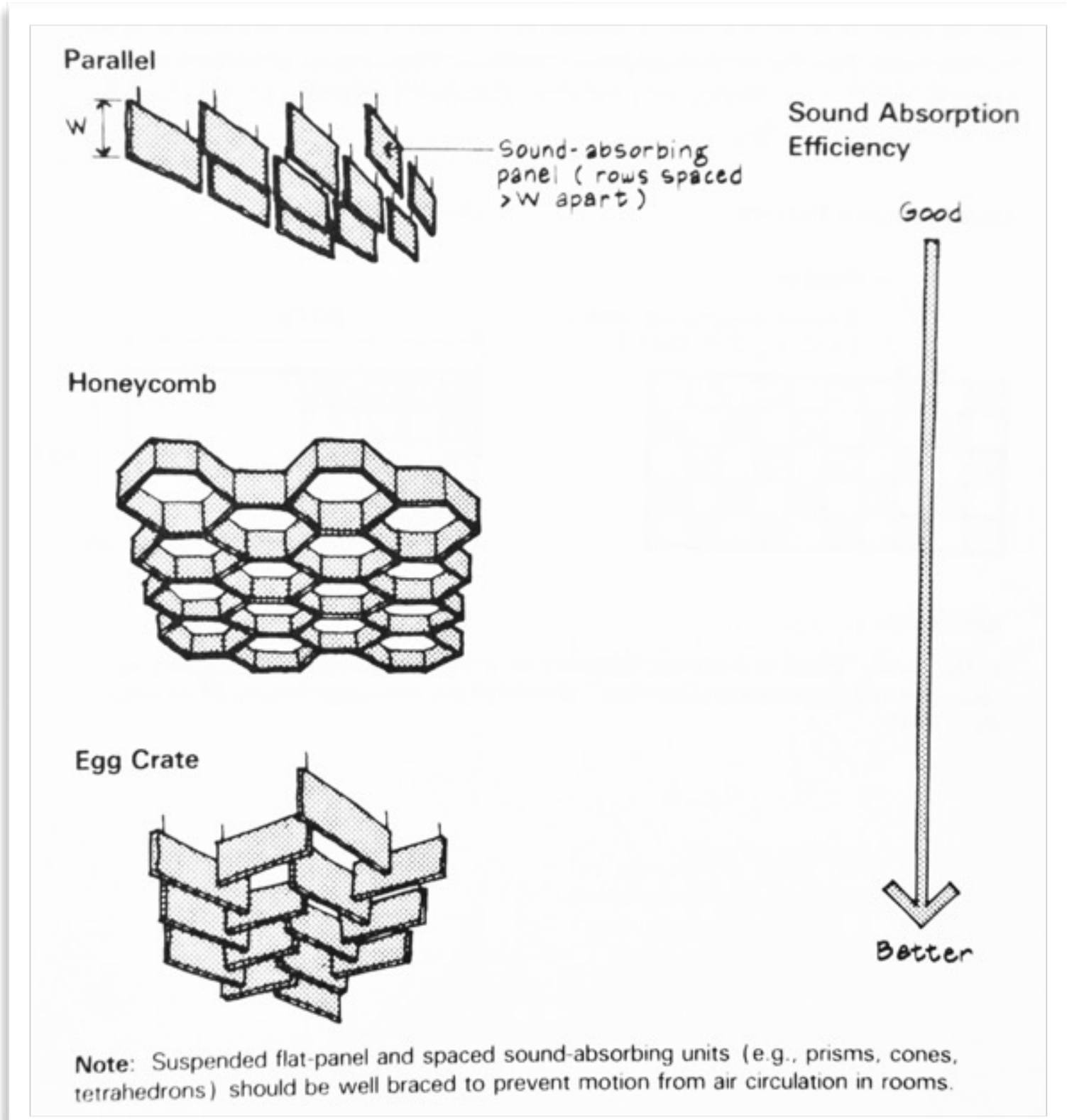
“Area Effect”



L’efficienza di un materiale fonoassorbente può variare in base alla distribuzione e posizionamento in una stanza. Per esempio 25 pannelli assorbenti assorbiranno più energia sonora se posizionati a scacchiera piuttosto che in modo uniforme. Questa variazione è dovuta alla diffrazione dell’energia sonora attorno ai perimetri dei pannelli spaziati tra loro e all’assorbimento addizionale dei loro bordi.

L'"Area Effect" influisce anche in 3 dimensioni: un caso pratico è l'installazione dei baffles a soffitto. Alcuni pattern sono meglio di altri.





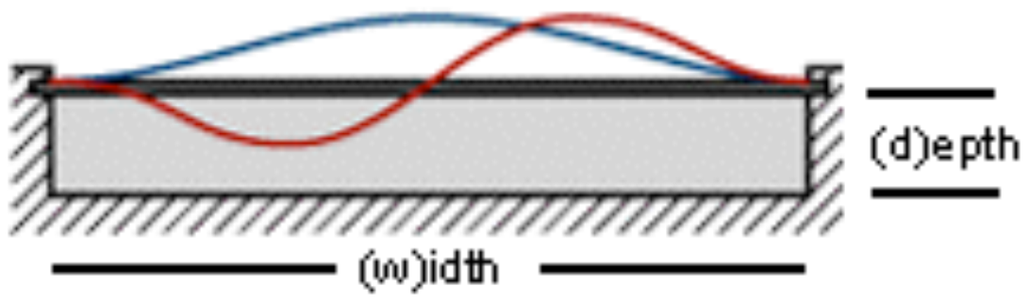
2. Assorbitori a membrana

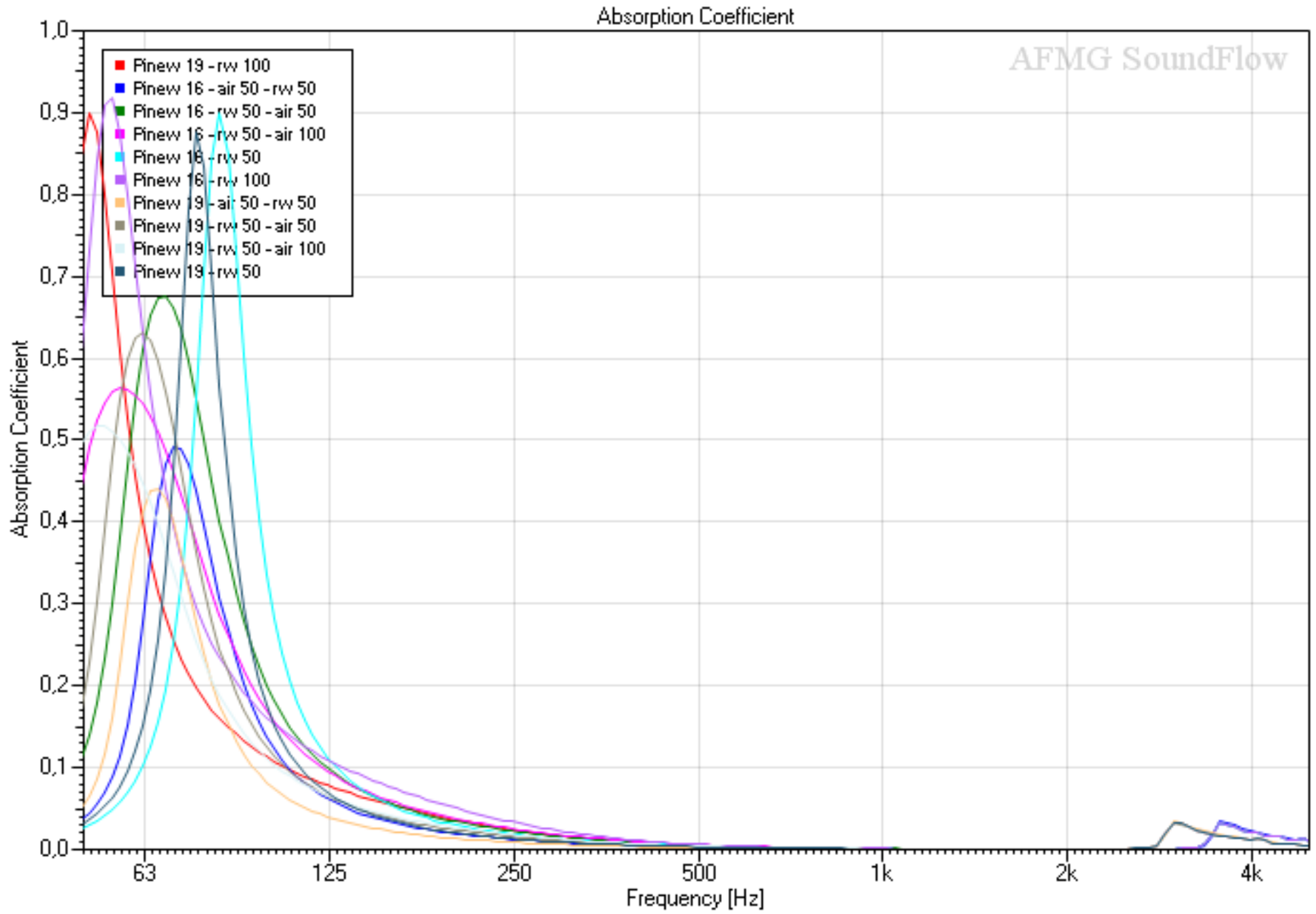
Assorbono l'energia sonora per un fenomeno di tipo dissipativo legato allo smorzamento dell'oscillazione che si genera alla risonanza della massa d'aria parzialmente confinata o di una superficie vibrante sollecitata da onde sonore incidenti su di essa.

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

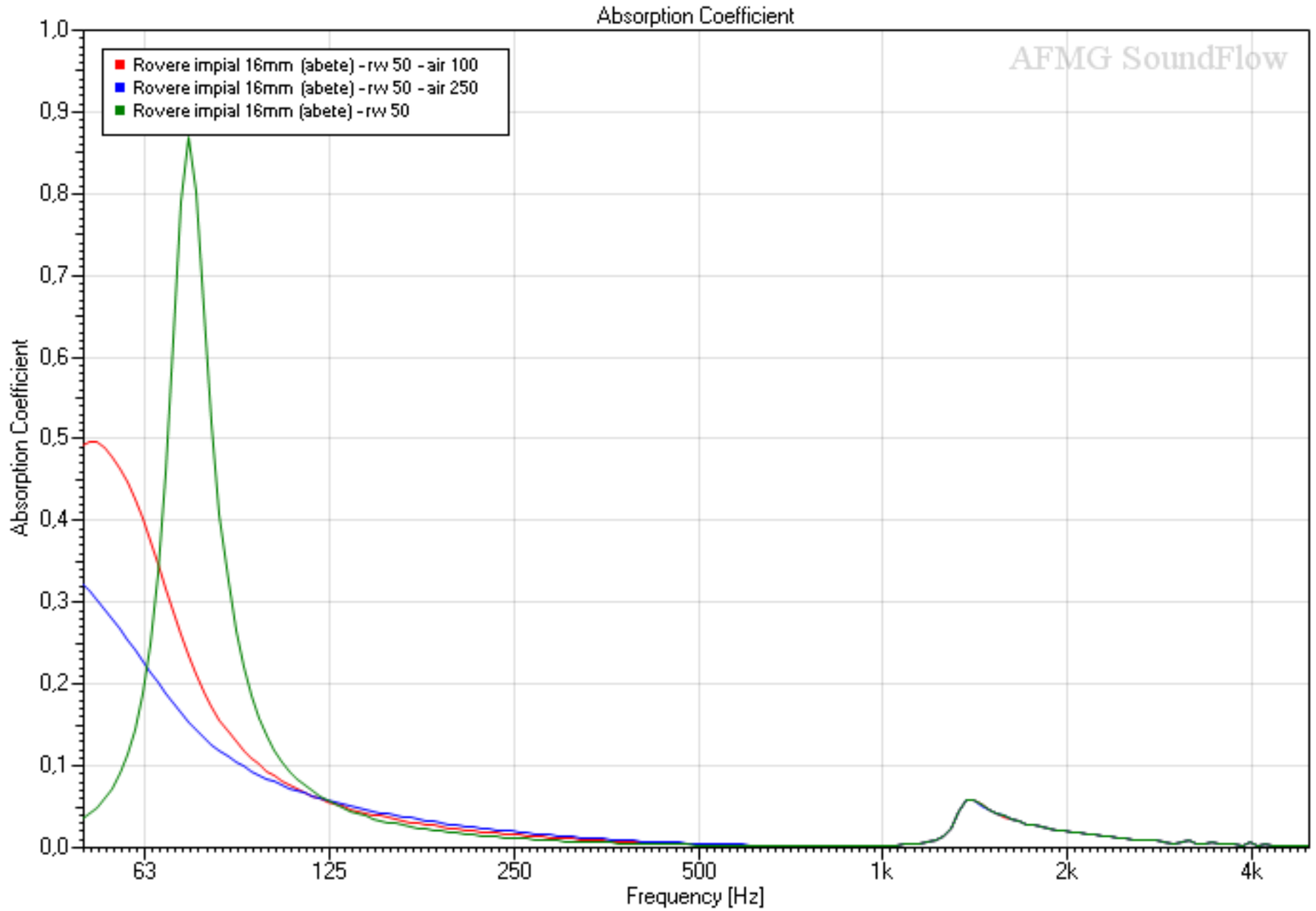
ρ_A = densità del pannello (kg/m^2)

d = spessore della camera d'aria (cm)





Pannelli risonanti: nella legenda il primo numero indica lo spessore in mm del pannello, la sigla rw indica la lana di roccia e il suo spessore e la sigla air indica la camera d'aria e il suo spessore.



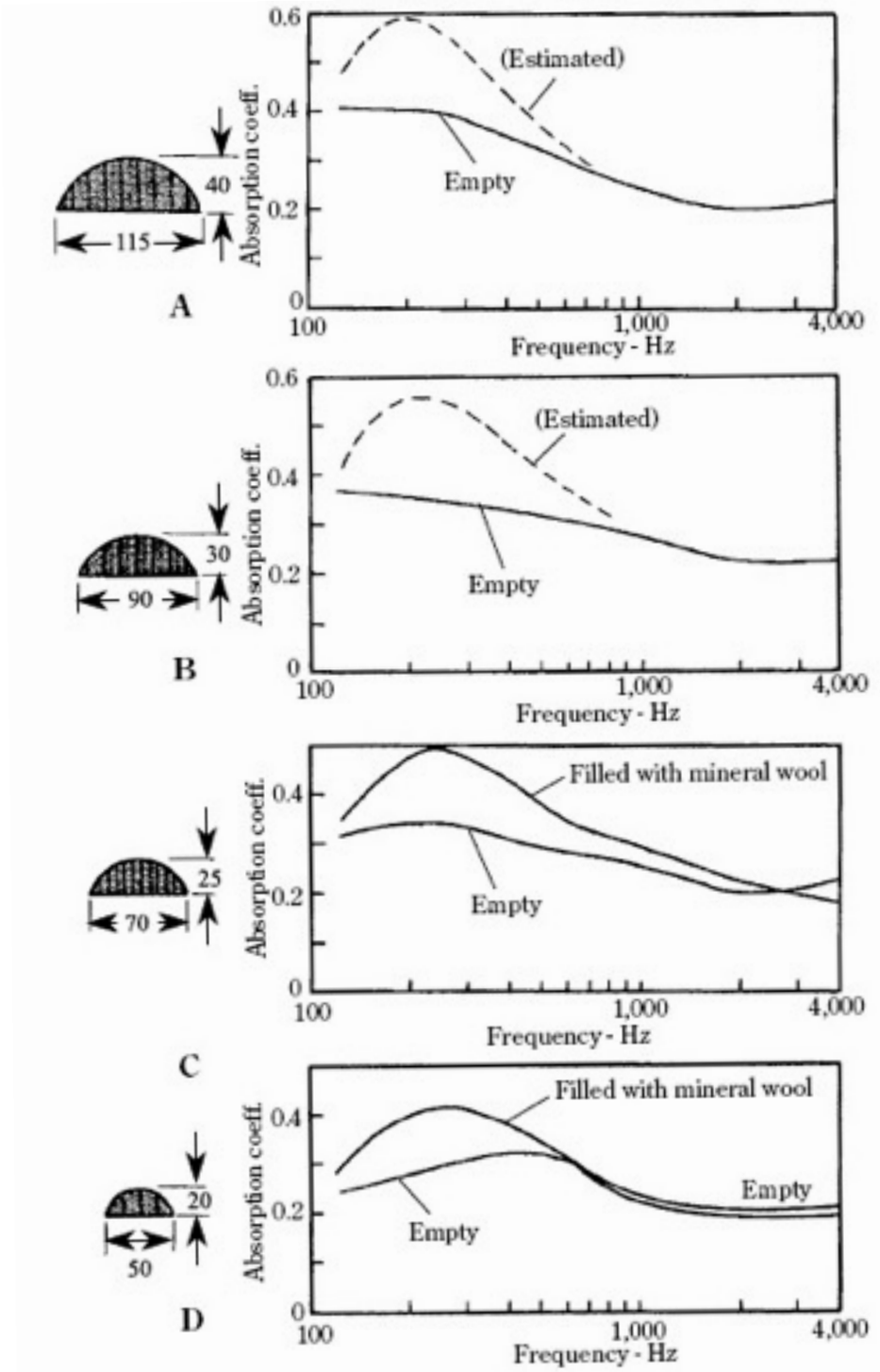
Tre diversi pannelli risonanti in rovere impiallacciato su abete: nella legenda il primo numero indica lo spessore in mm del pannello, la sigla rw indica la lana di roccia e il suo spessore e la sigla air indica la camera d'aria e il suo spessore.

Assorbitori policilindrici

sono diffusori (ad alte freq.) e assorbitori (alle medio-basse)

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.



Esempi di assorbitori diffusori policilindrici

Esempi di assorbitori diffusori policilindrici

3. Assorbitori per Risonanza

Risonatori di Helmholtz

Assorbitori a pannelli forati

Assorbitori a stecche

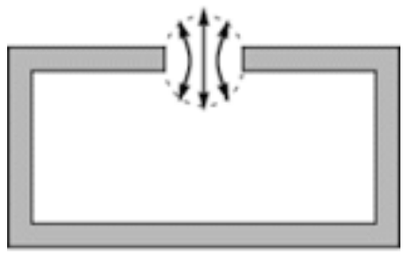
Il principio della risonanza di Helmholtz

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.

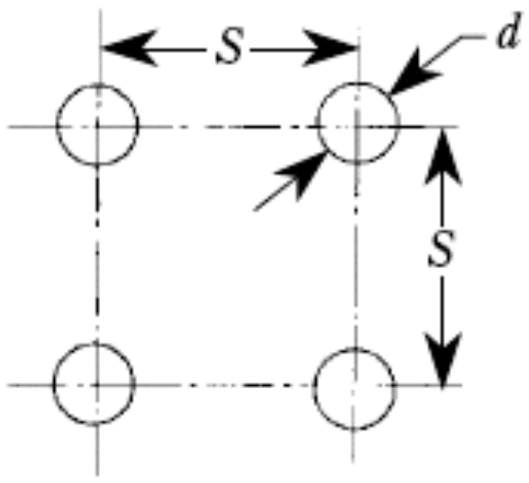
Se il suono giunge perpendicolare al pannello perforato, tutti i piccoli risonatori sono in fase. Per le onde sonore che arrivano dal lato, l'assorbimento è meno efficiente. Questa perdita può essere minimizzata sezionando la cavità dietro alla faccia perforata.

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

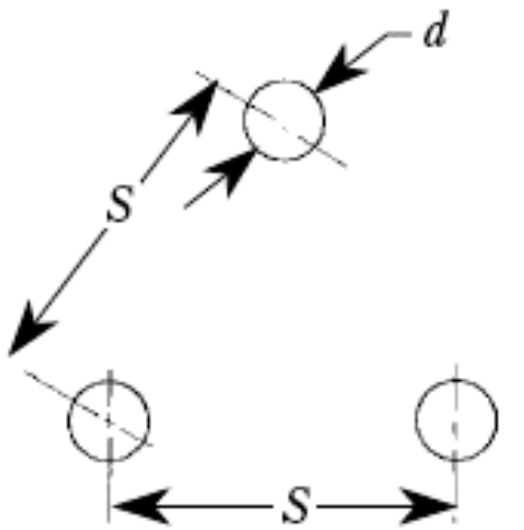
$P\%$ = percentuale di perforazione: (area dei buchi / area del pannello) x 100

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

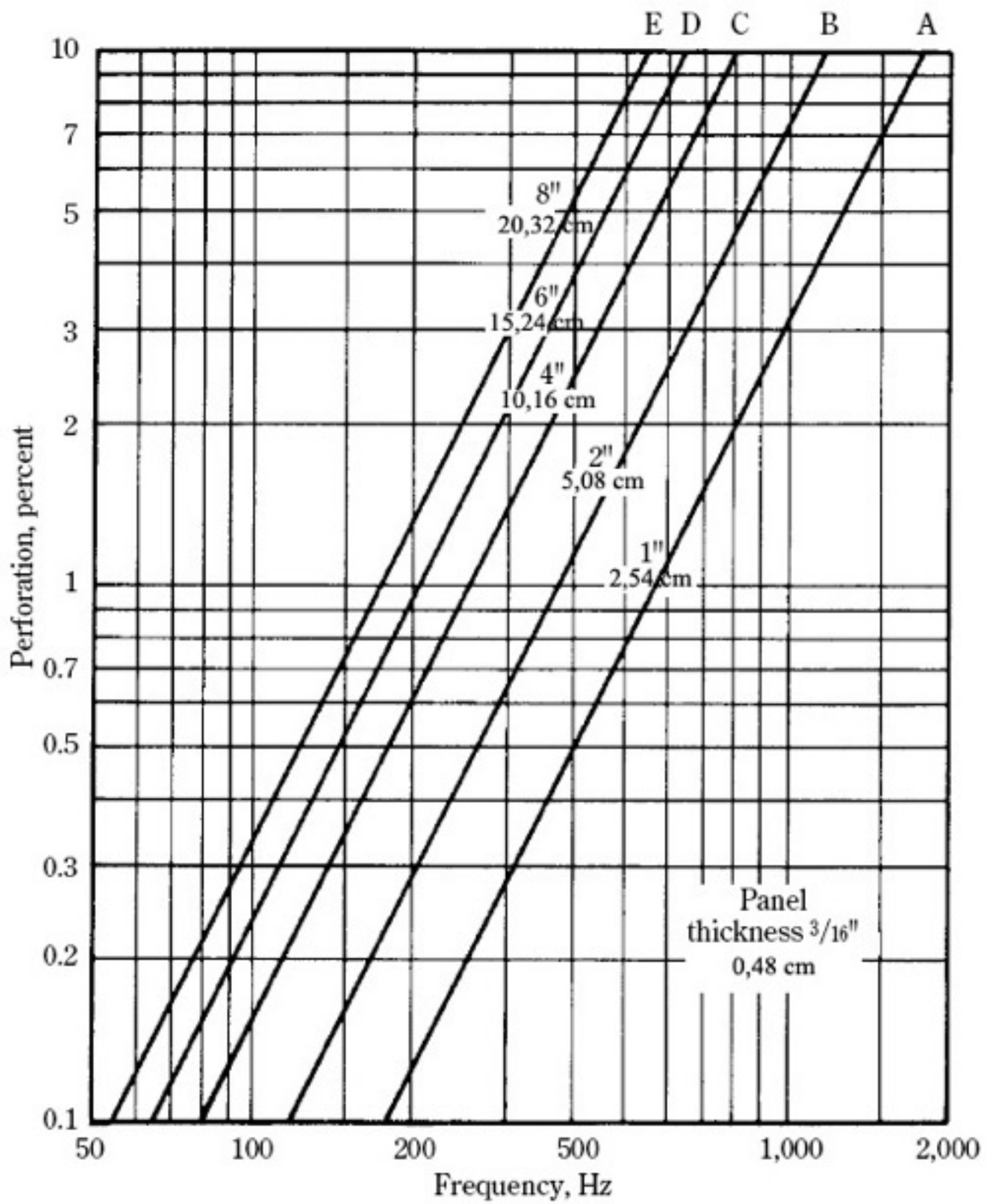
l [cm] = profondità della camera d'aria



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



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



Assorbitori a Stecche

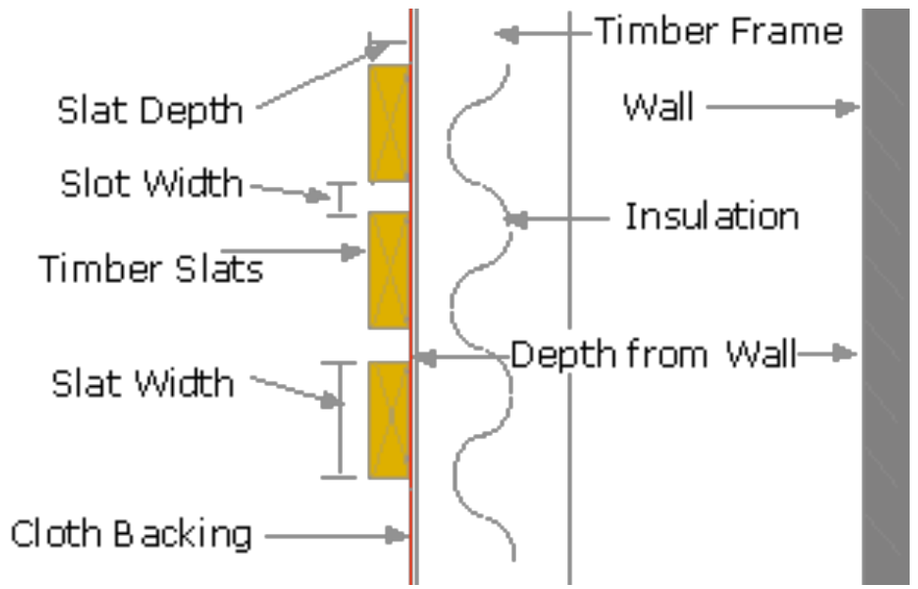
La massa dell'aria negli slot tra tra le stecche reagisce con l'aria nella cavità per formare un sistema risonante.

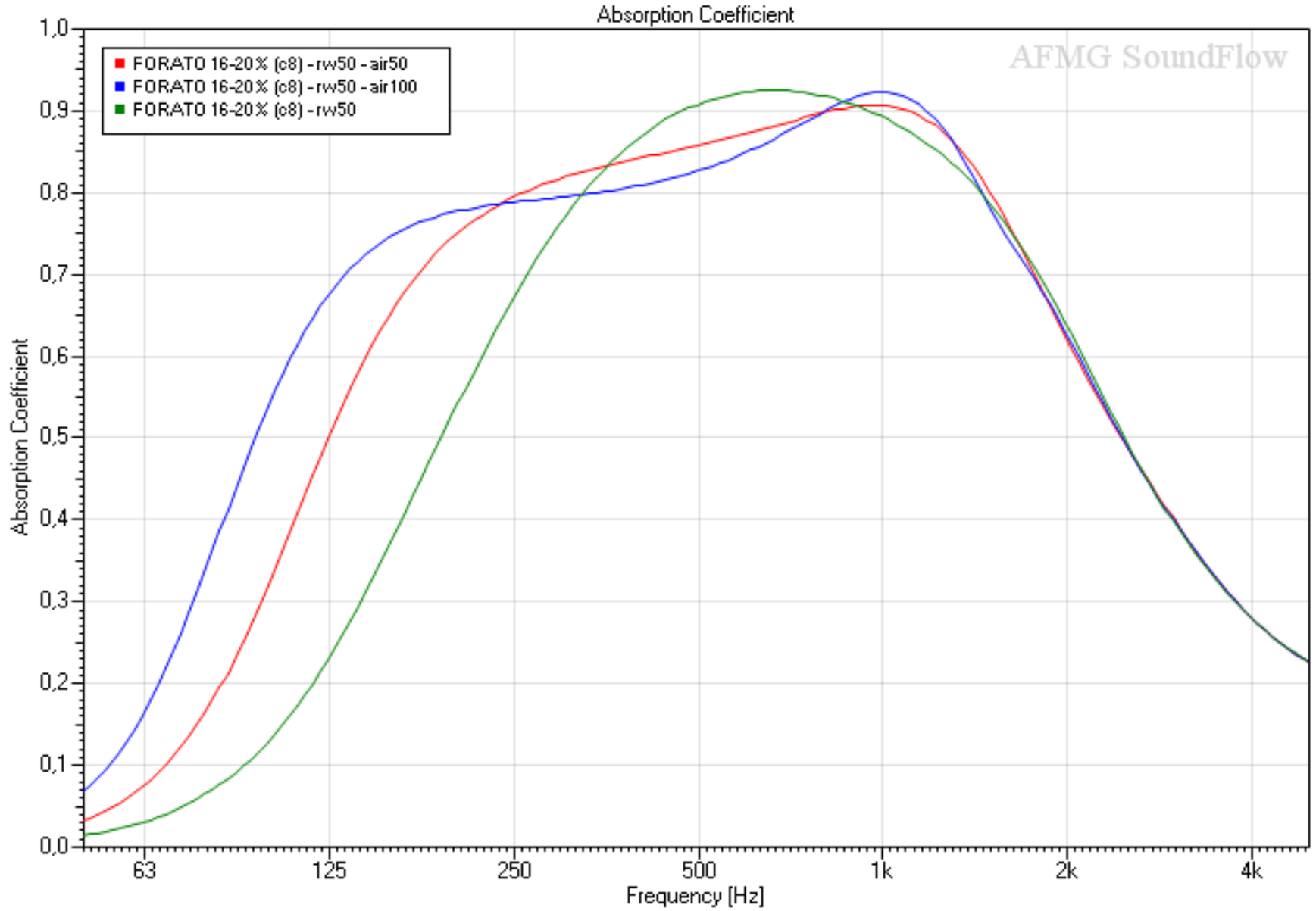
Si introduce solitamente fibra di vetro dietro agli slot per fare resistenza e allargare quindi il picco d'assorbimento

Più sono stretti gli slot e più sono profonde le cavità, più è bassa la frequenza di assorbimento massimo.

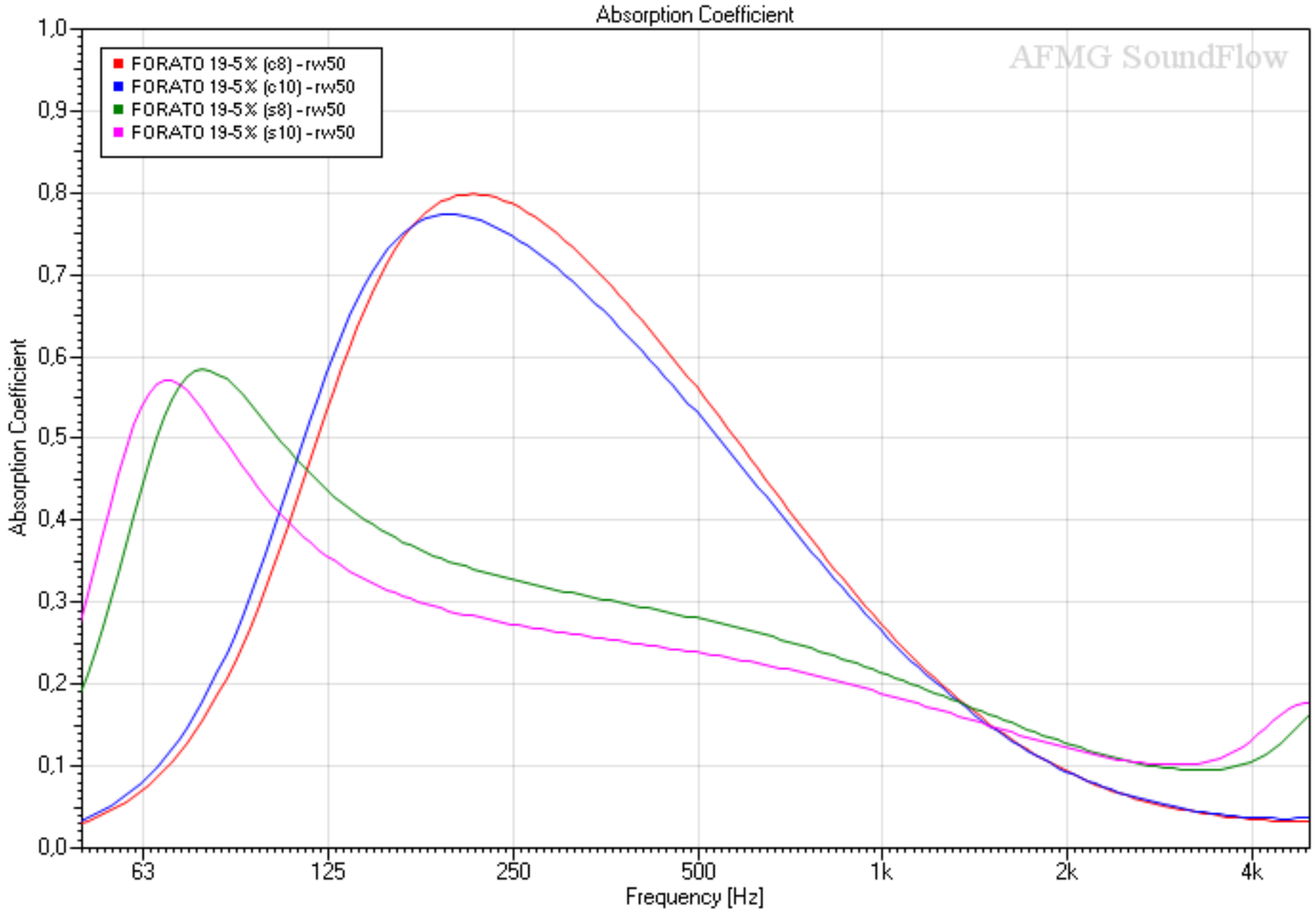
$$f_{Hs} = 5469\sqrt{\frac{r}{1.2\left[dD(r+w)\right]}}$$

r = slot width [cm]
d = slat thickness [cm]
1.2 = mouth correction [cm]
D = cavity depth [cm]
w = slat width [cm]
5469 = c/(2*π)
c =speed of sound [cm/sec] (circa 34300)

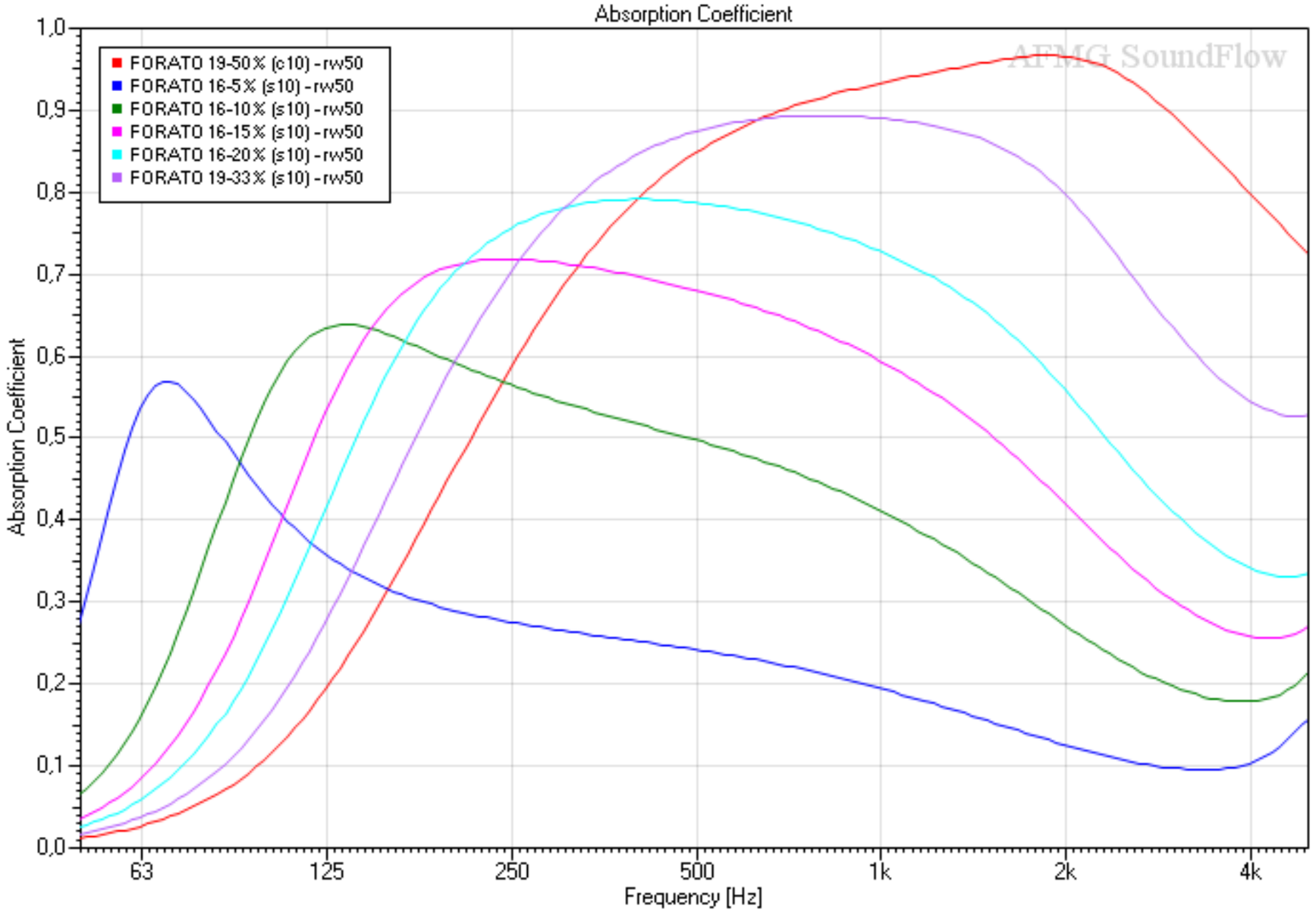




Tre diversi pannelli forati risonanti di stesso spessore (16 mm)e % e tipo di foratura (20% a stecche), montaggio diverso: la sigla rw indica la lana di roccia e il suo spessore e la sigla air indica la camera d'aria e il suo spessore.

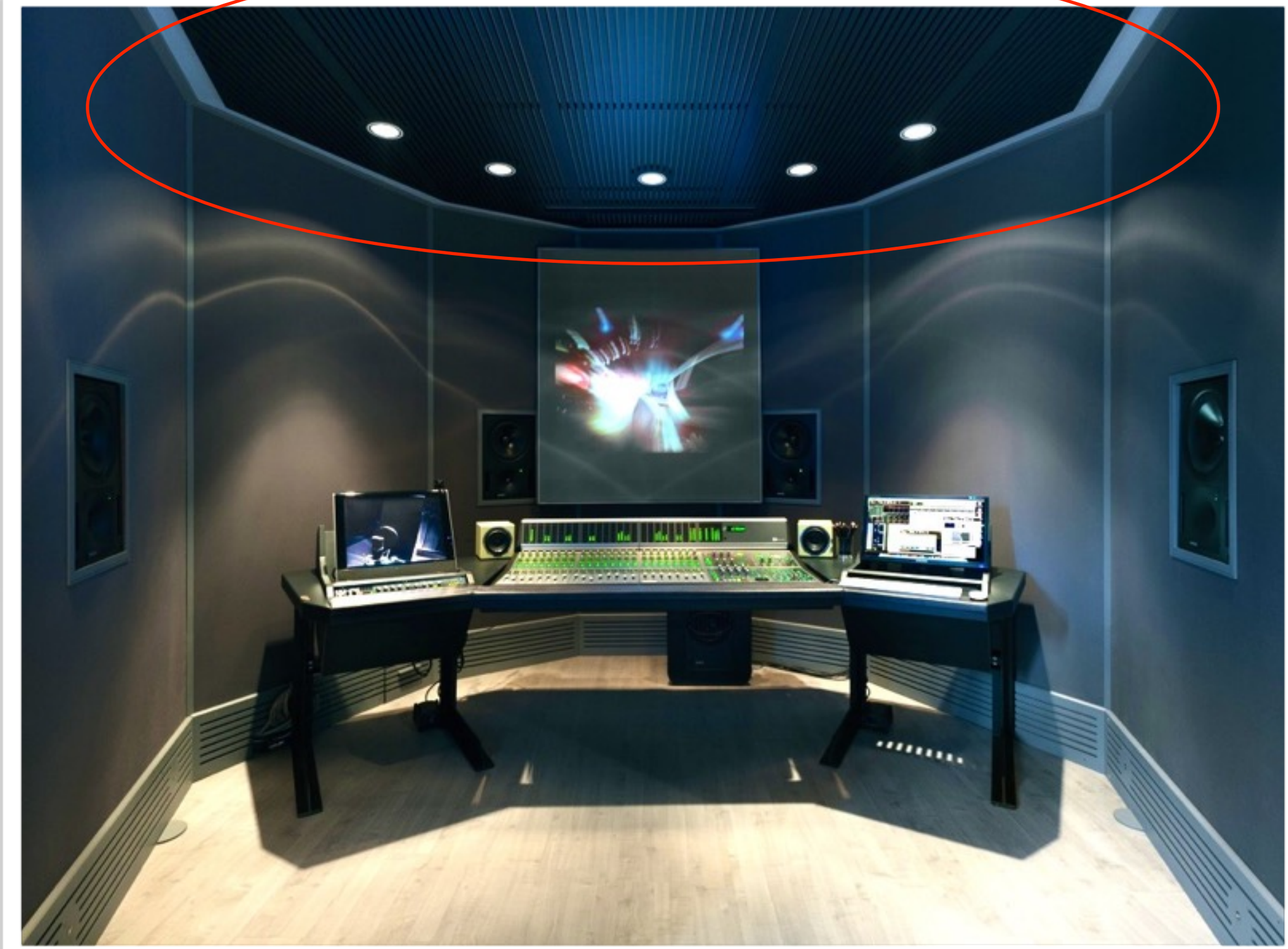


Pannelli forati risonanti (stesso spessore e percentuale foratura, ma di tipo diverso: c = circolare, s = a stecche): nella legenda il primo numero indica lo spessore in mm del pannello, poi c'è la percentuale di foratura (5%), la sigla rw indica la lana di roccia e il suo spessore (50 mm).

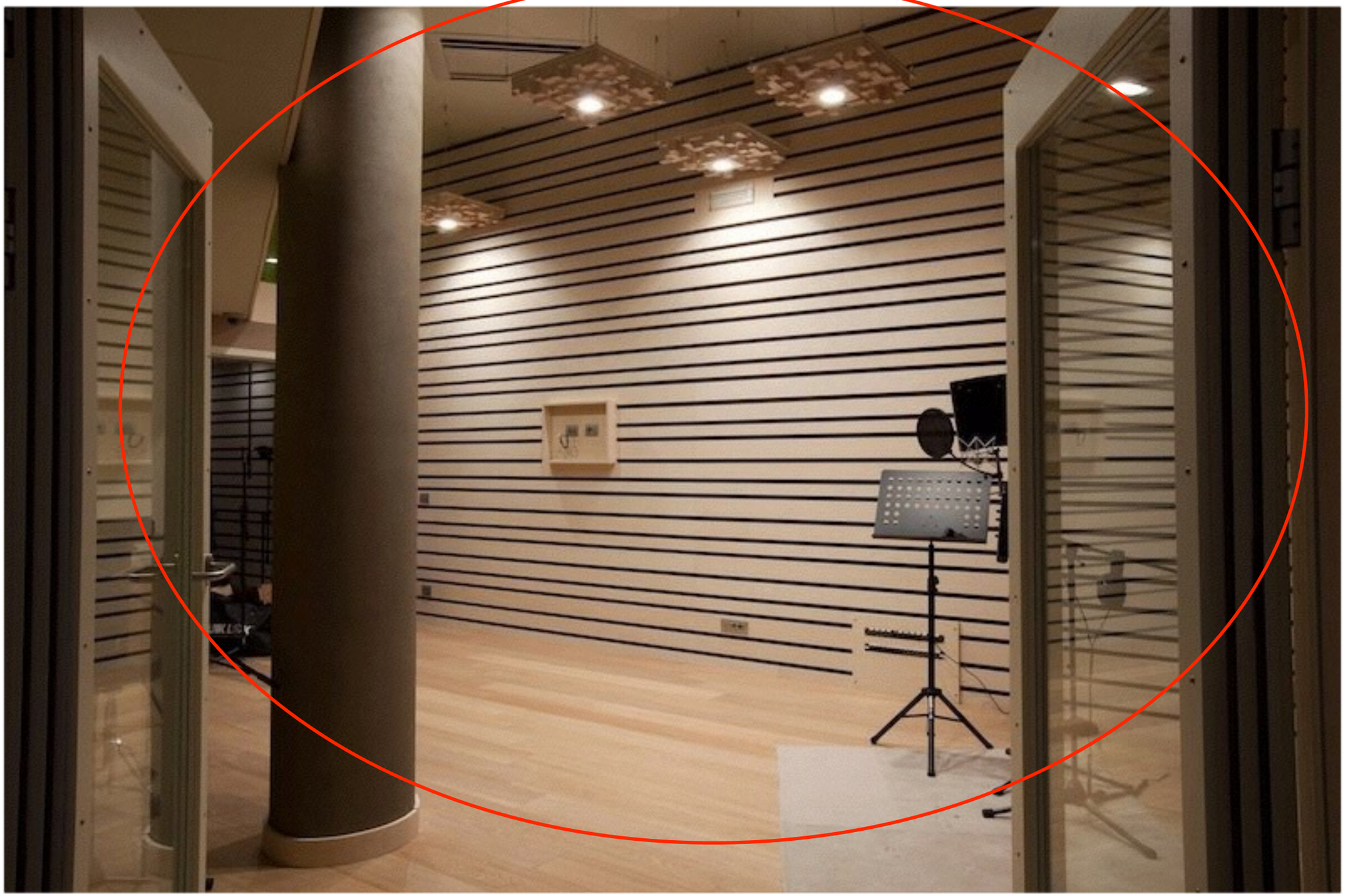


Pannelli forati risonanti [stesso montaggio e materiale fonoassorbente (lana di roccia 50 mm), cambia la percentuale di foratura, il tipo (c = circolare, s = a stecche) e lo spessore del pannello]: nella legenda il primo numero indica lo spessore in mm del pannello, poi c'è la percentuale di foratura e il tipo di foratura.

Esempi di assorbitori forati e a stecche:

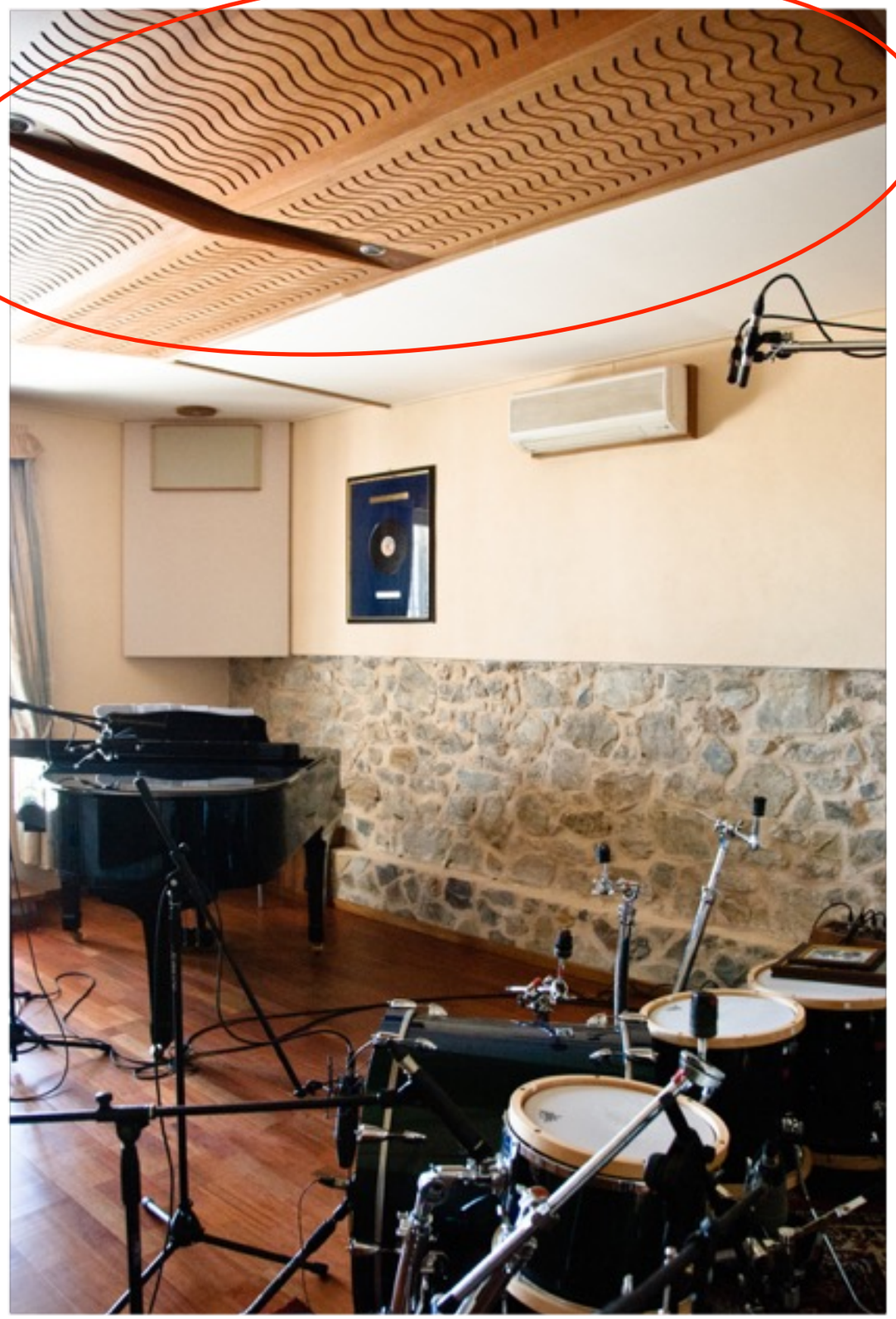


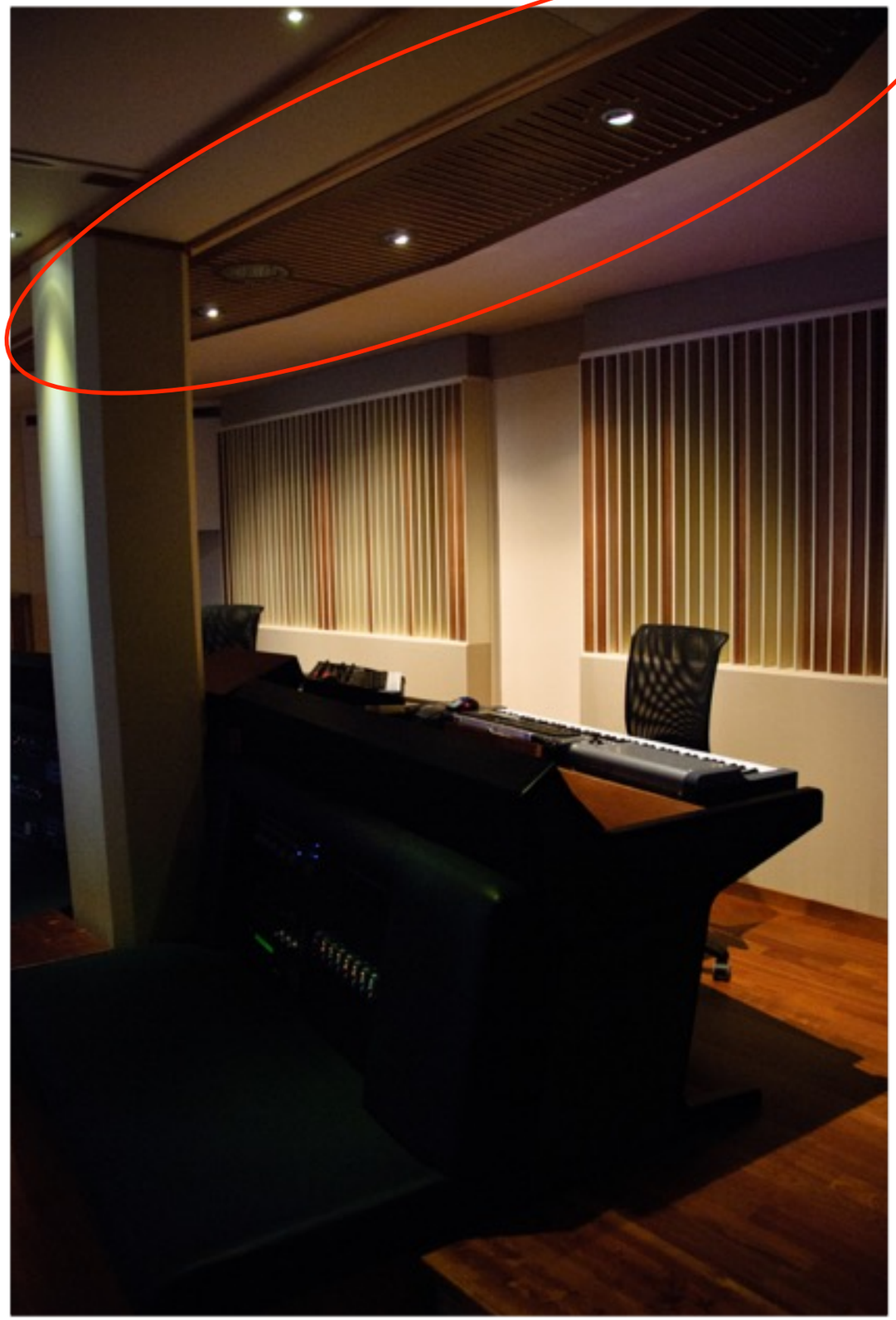
Esempi di assorbitori a stecche:



Esempi di assorbitori a stecche:

Esempi di assorbitori forati e a stecche:

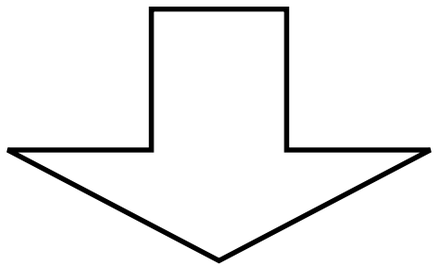




Esempi di assorbitori forati e a stecche:

Onde Acustiche

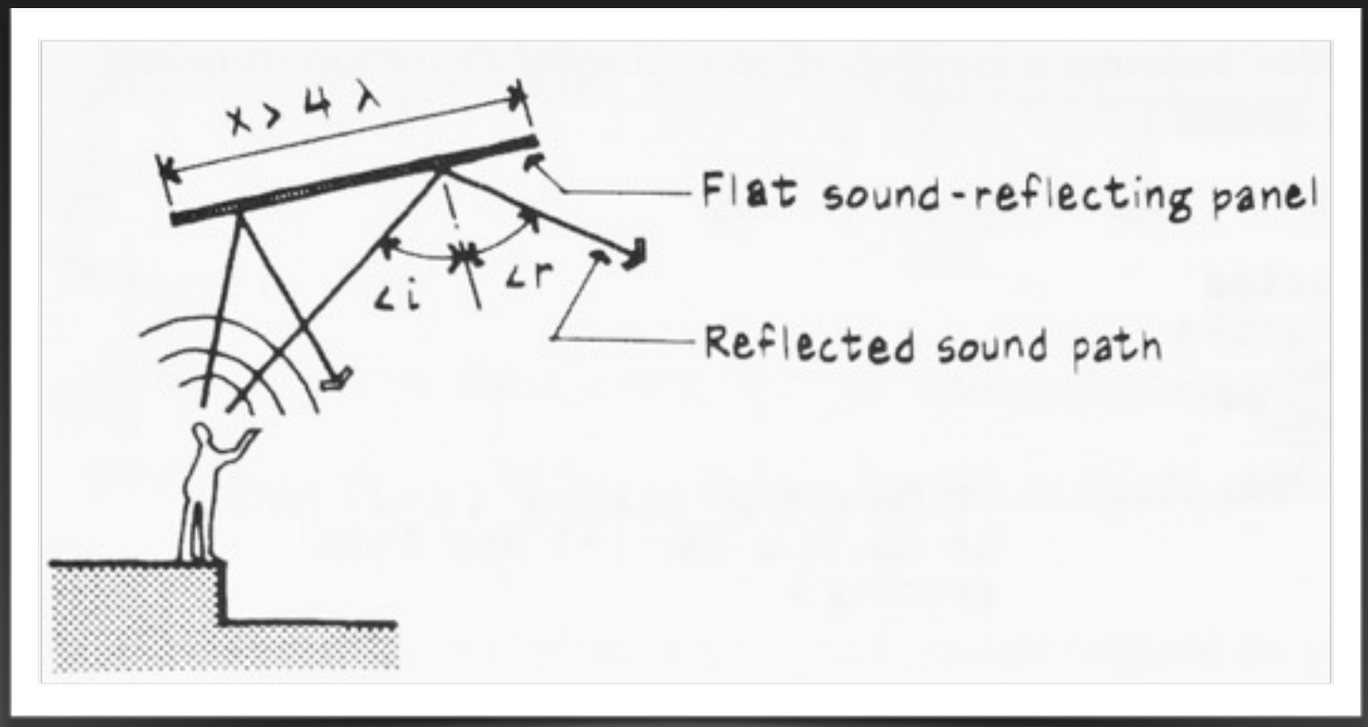
Il suono è un fenomeno di tipo ondulatorio



è soggetto ai tipici comportamenti ondulatori:

Riflessione
Rifrazione
Diffrazione
Interferenza

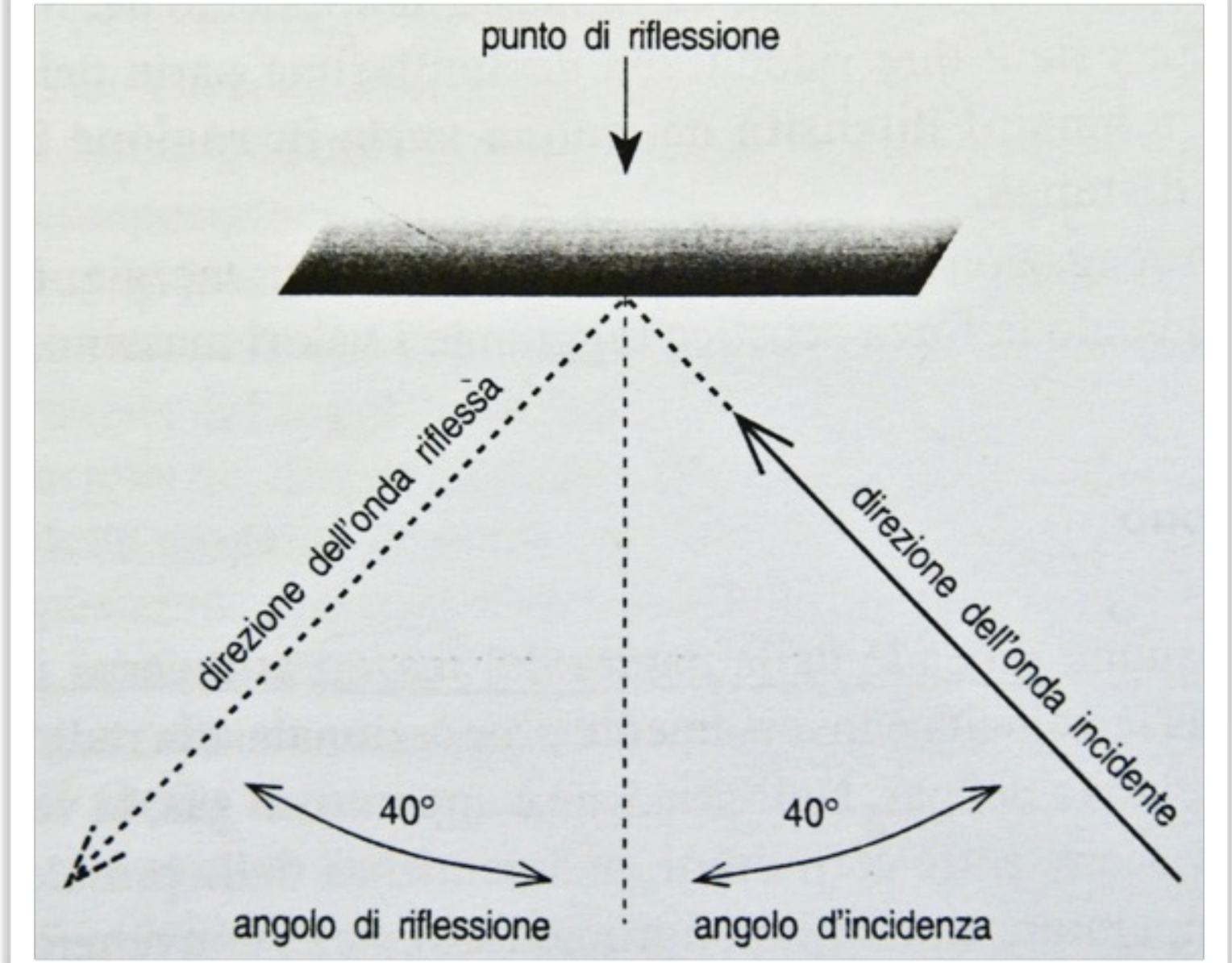
Riflessione acustica



Se la dimensione della superficie x è circa 2÷4 volte la lunghezza d'onda incidente λ, allora l'angolo di incidenza i è uguale all'angolo di riflessione r.

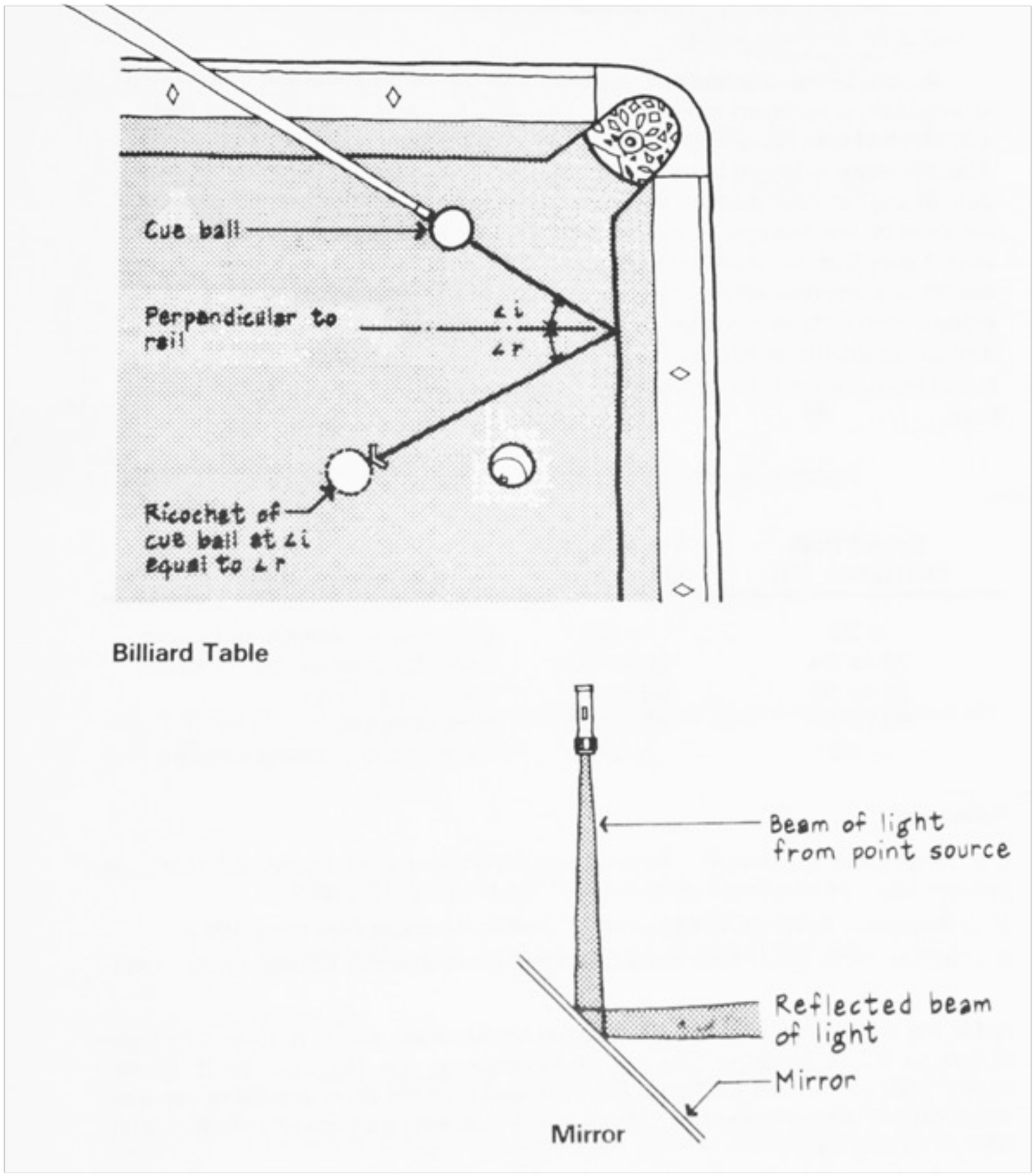
Ad esempio, essendo 0,343 m la lunghezza d'onda di un'onda acustica di 1000 Hz, una superficie di 4λ x 0,343 m = 1,372 m rifletterà onde con frequenze di 1000 Hz e superiori.

Quando un sistema di onde sonore incontra un corpo incapace di vibrare le onde riflettono con una norma che è comune a tutti i fenomeni del genere e secondo la quale l'angolo d'incidenza è uguale a quello di riflessione:



Dalle caratteristiche della superficie riflettente, dipende l'intensità e la qualità della riflessione. In ogni caso, la parte di energia che non viene riflessa è assorbita oppure rifratta.

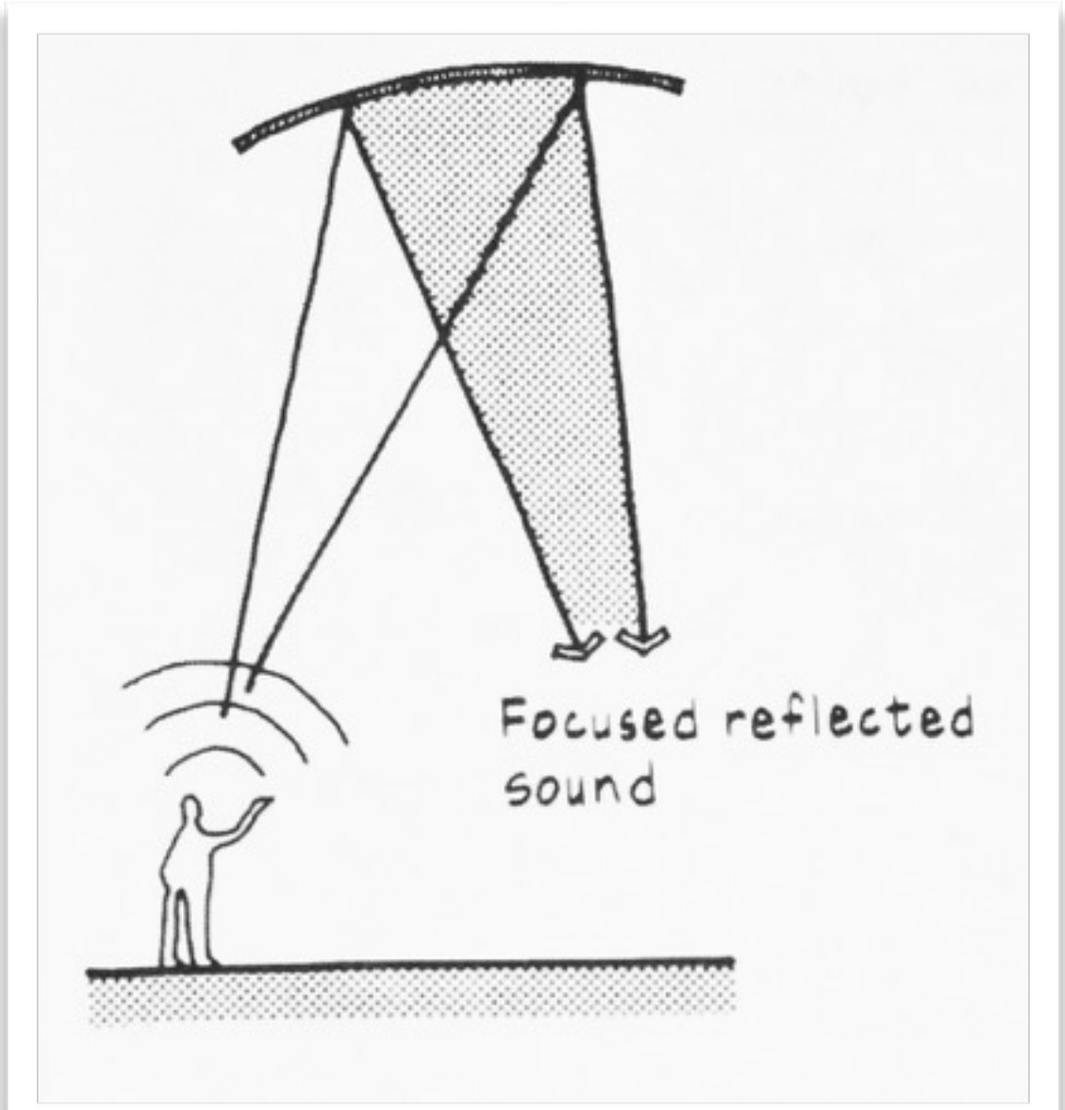
La riflessione speculare è quella che calcoliamo giocando a biliardo oppure guardando ad uno specchio.

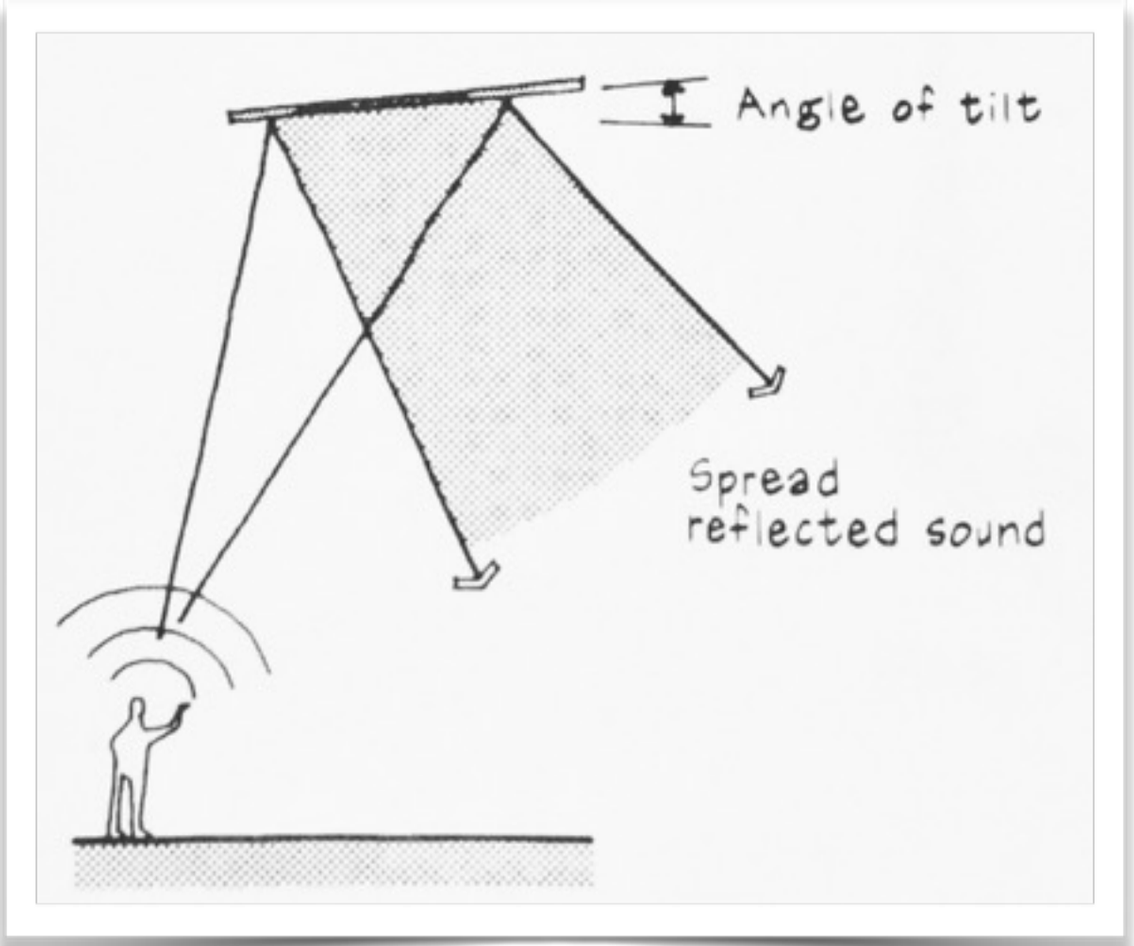


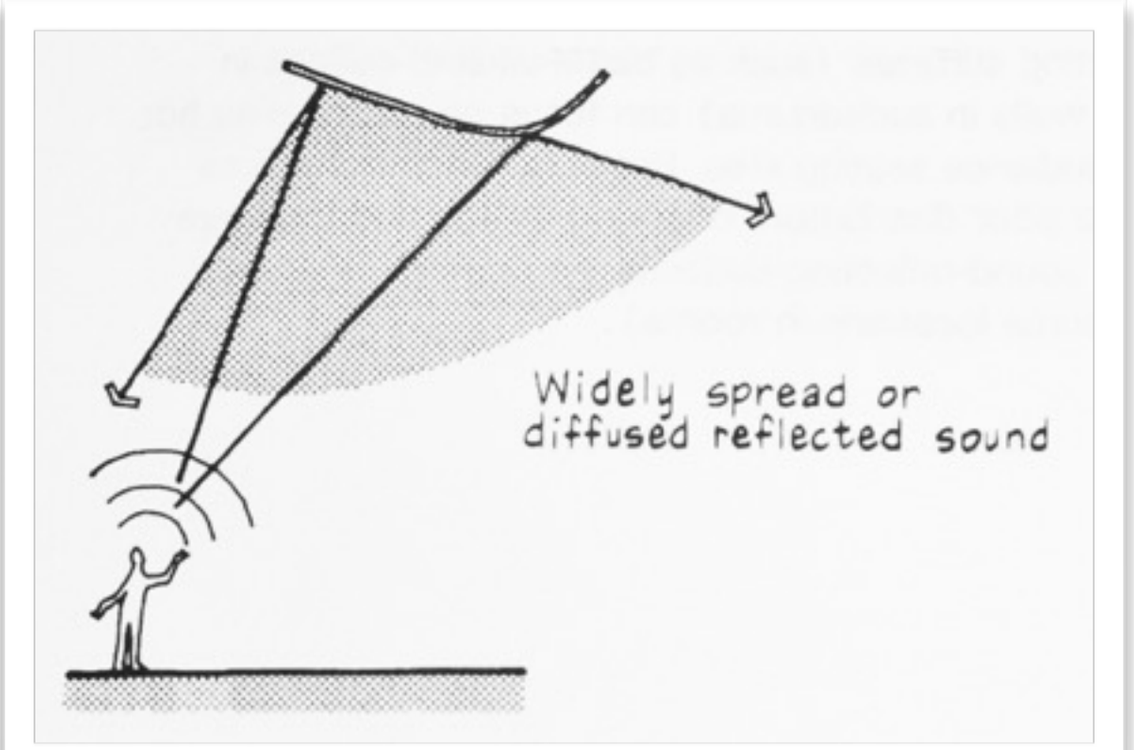
La riflessione speculare è molto utile per indirizzare le riflessioni dove vogliamo noi.

Sicuramente è più efficiente della riflessione focalizzata da una superficie concava.

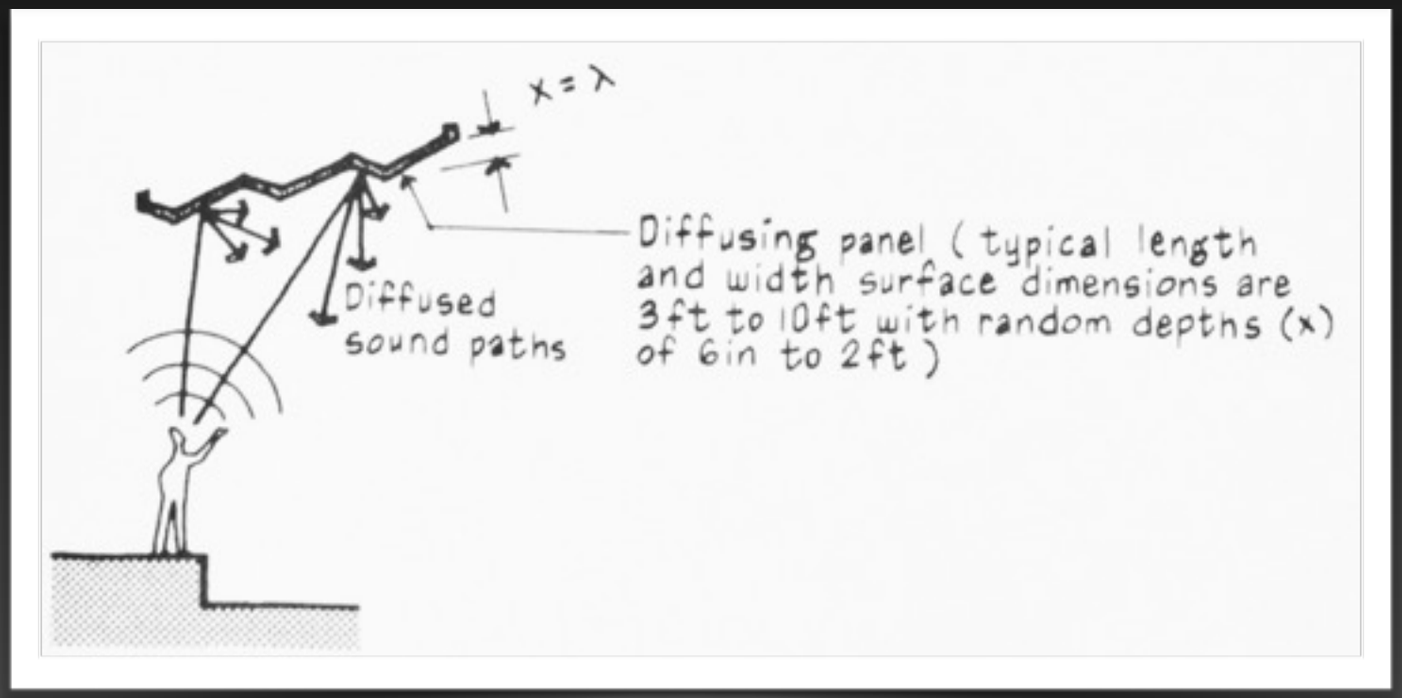
Le superfici convesse possono invece allargare l'angolo di diffusione.



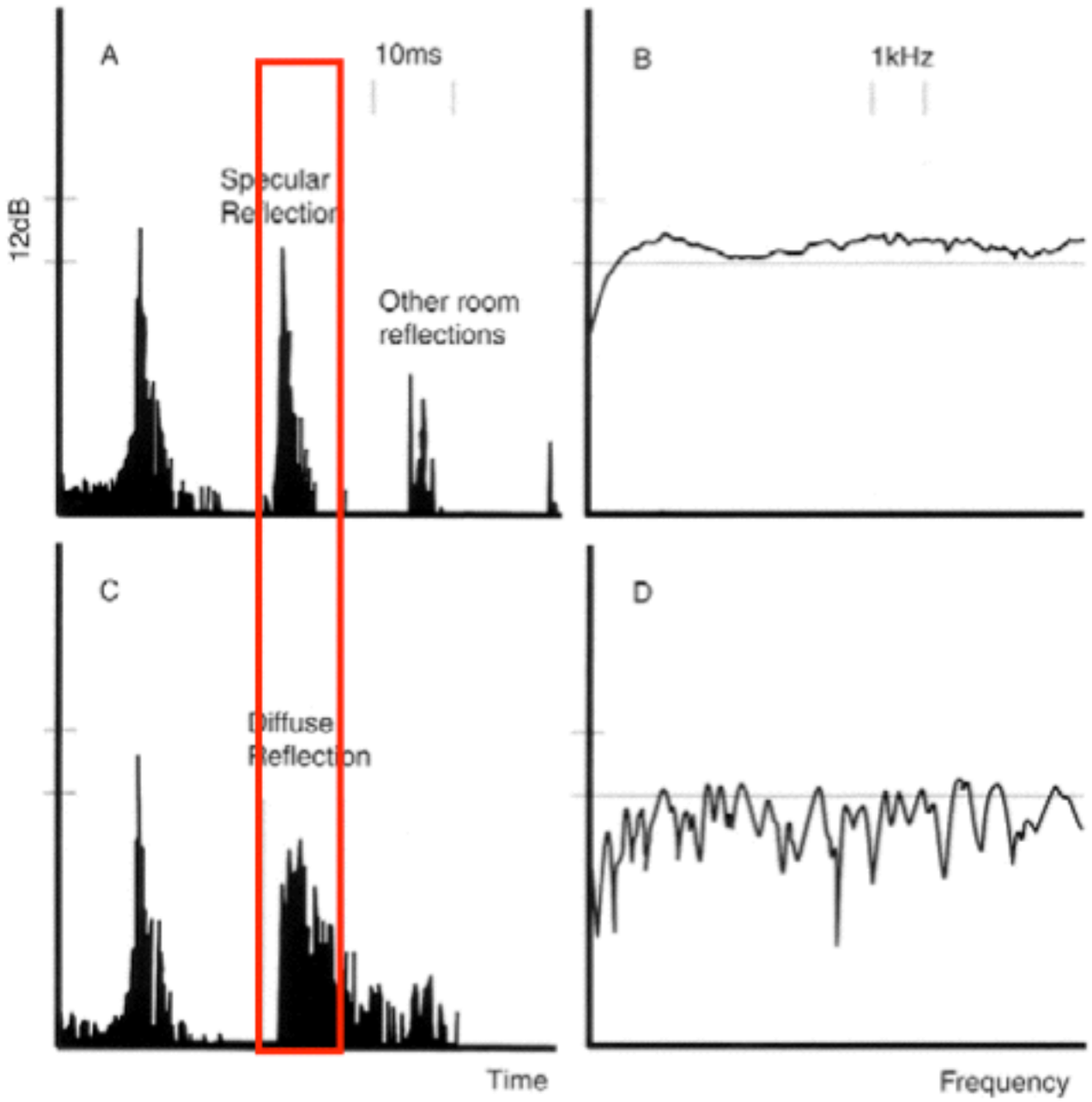




Diffusione acustica



La diffusione acustica è la redistribuzione random (o "scattering") di un'onda sonora da una superficie. Avviene quando la superficie solida ha delle profondità di spessore comparabile alle lunghezze d'onda dell'onda incidente. In questo caso non si ha riflessione speculare ma il suono viene sparpagliato in tutte le direzioni.



Interazione tra suono diretto e riflesso ("colorazione"): risposta all'impulso e risposta in frequenza del suono riflesso da una superficie piana (sopra) e da un diffusore (sotto).

La diffusione del suono in un ambiente chiuso crea una "coda" naturale nel decadimento sonoro che viene molto apprezzata soprattutto in ambito musicale.

Diffusione acustica

Superfici convesse (poly), triangolari etc

Diffusione di Schroeder: QRD, Skyline etc

Diffusione a linee curve elaborate con simulazioni di calcolo numerico

Binary Amplitude Diffusers

Qualsiasi tipo di superficie random o pseudo-random con discrepanze.

Diffusione di Schroeder:
QRD Quadratic Residue Diffusors
Skyline

Dispositivo basato su buche e spessori consequenziali 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

$$d = n^2 \bmod p$$

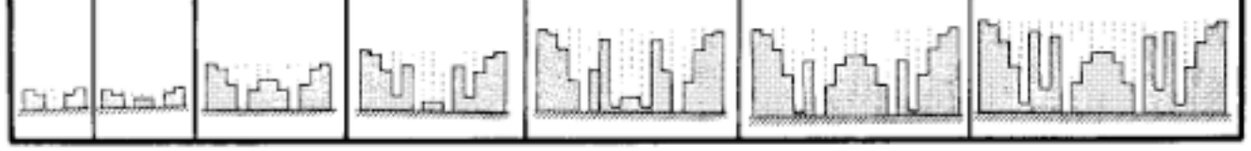
d : profondità di ogni buca

n : numero naturale (intero tra 0 e infinito)

p : numero primo

Quadratic-residue sequences

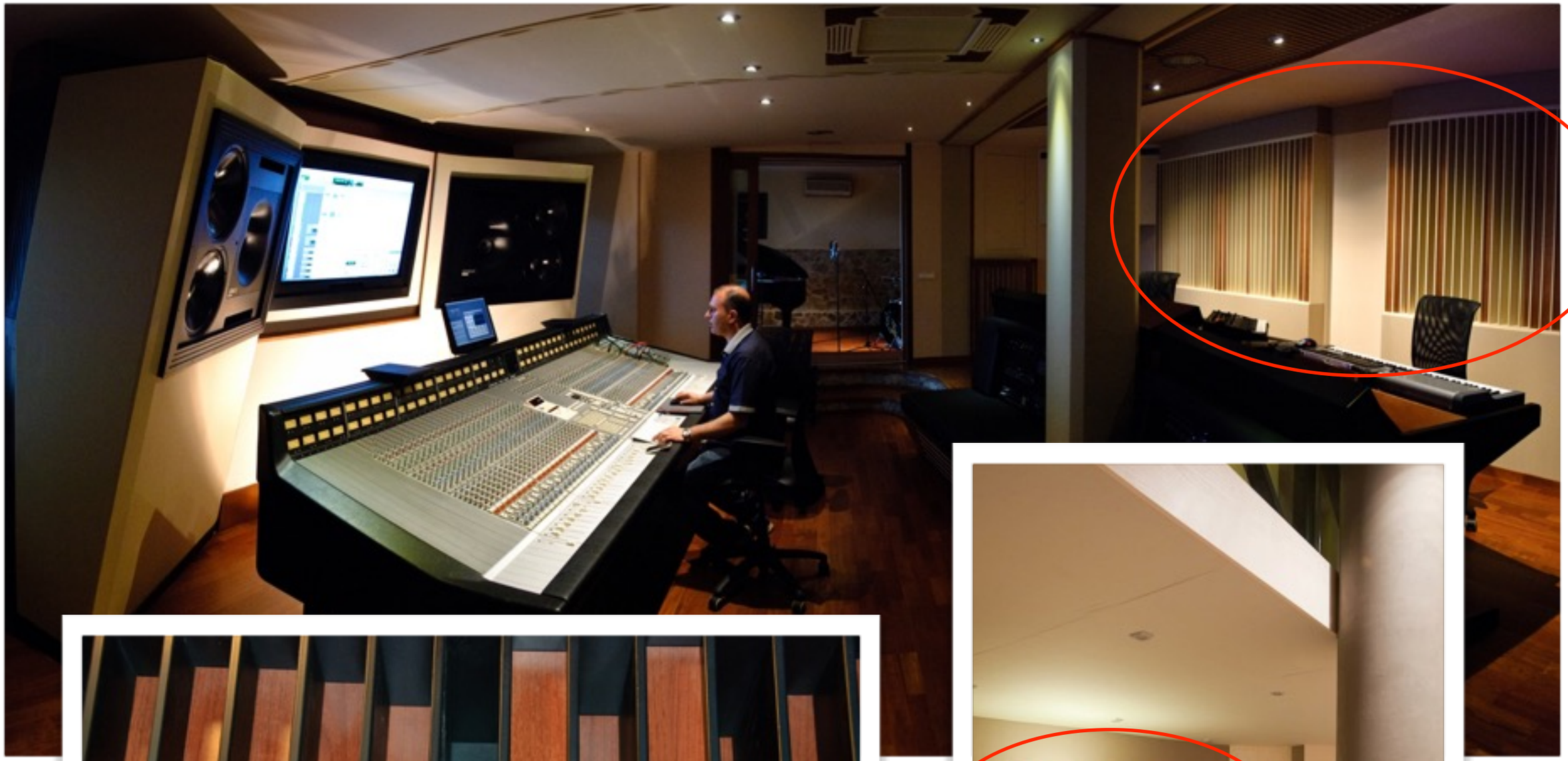
n	p						
	5	7	11	13	17	19	23
0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1
2	4	4	4	4	4	4	4
3	4	2	9	9	9	9	9
4	1	2	5	3	16	16	16
5	0	4	3	12	8	6	2
6		1	3	10	2	17	13
7		0	5	10	15	11	3
8			9	12	13	7	18
9			4	3	13	5	12
10			1	9	15	5	8
11			0	4	2	7	6
12				1	8	11	6
13				0	16	17	8
14					9	6	12
15					4	16	18
16					1	9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

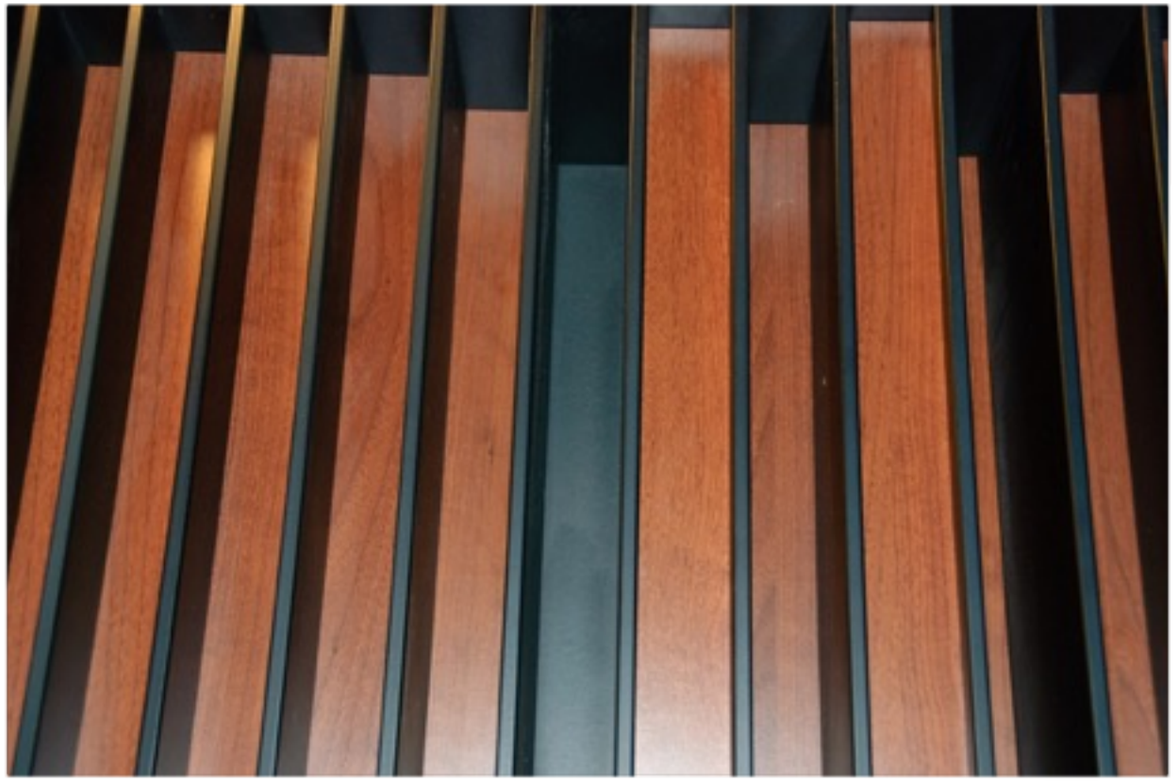


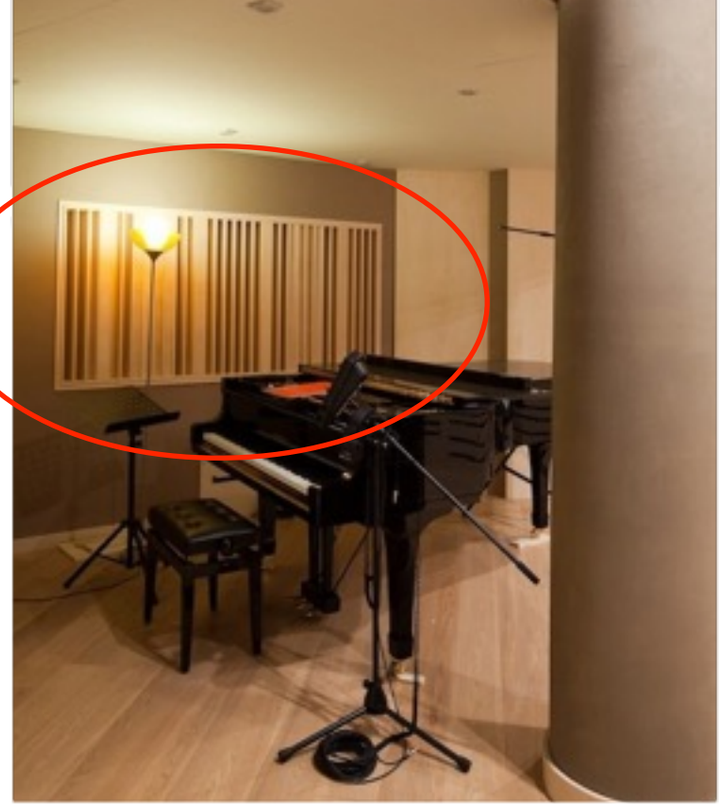
Well depth or proportionality = n^2 modulo p

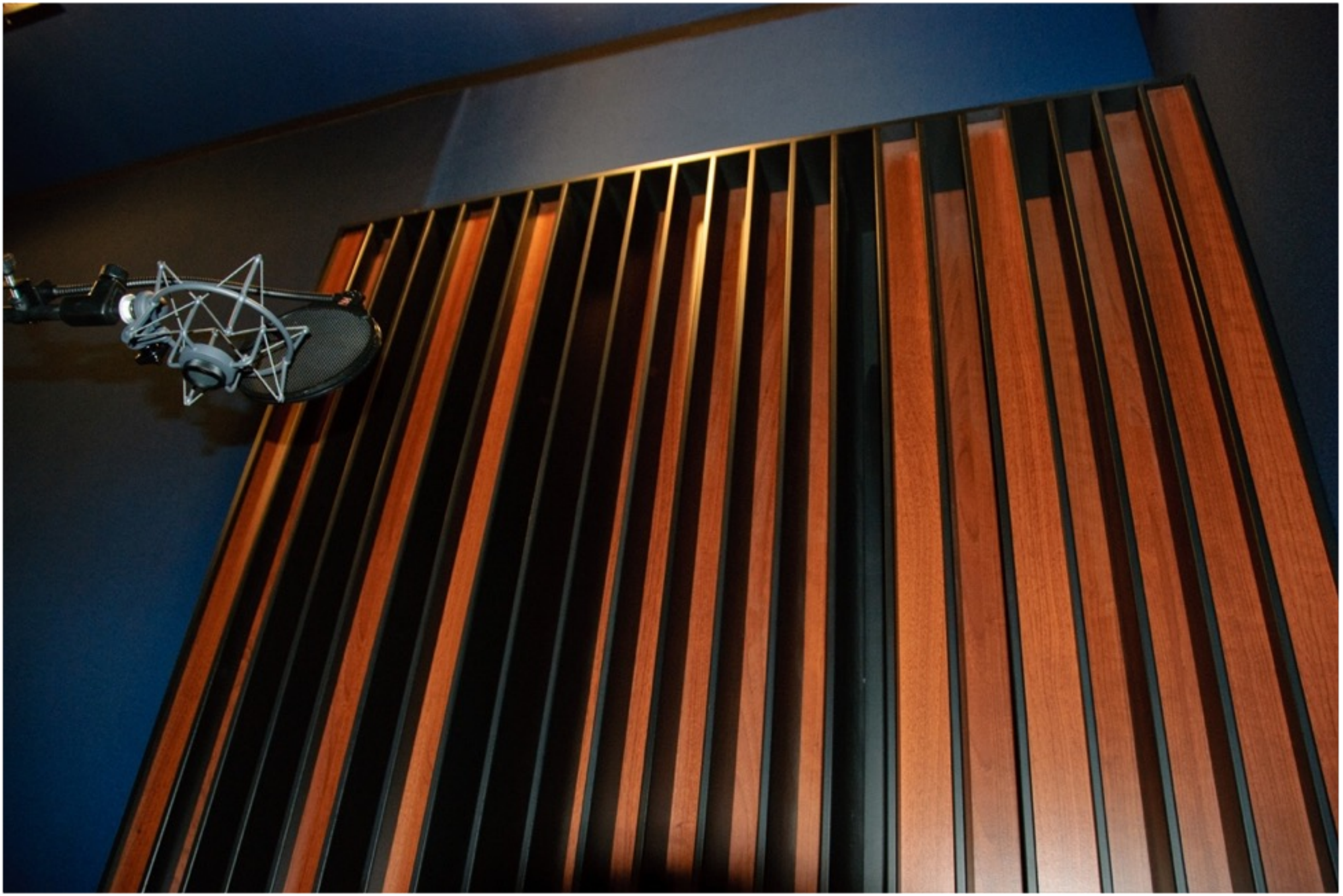
n = integer

p = prime number

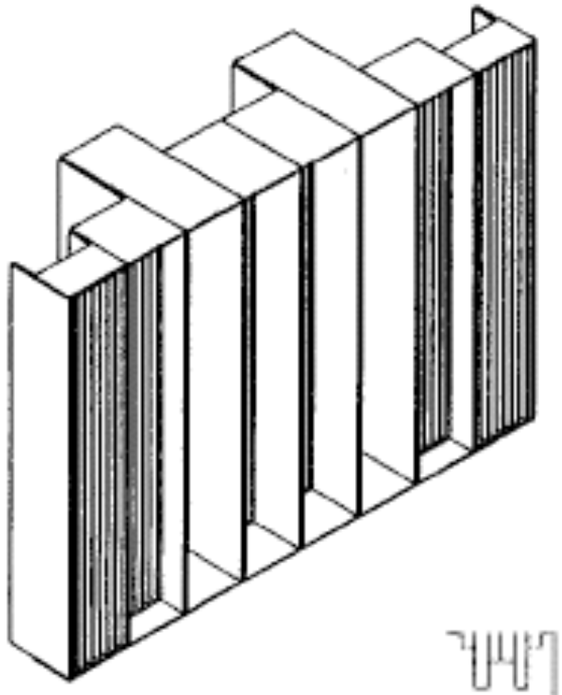


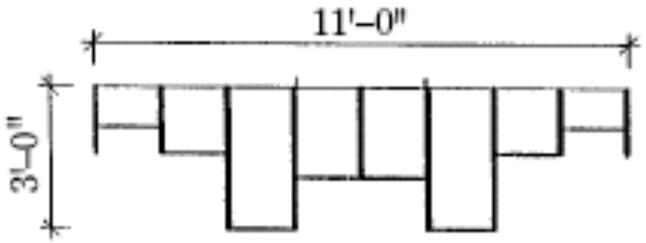


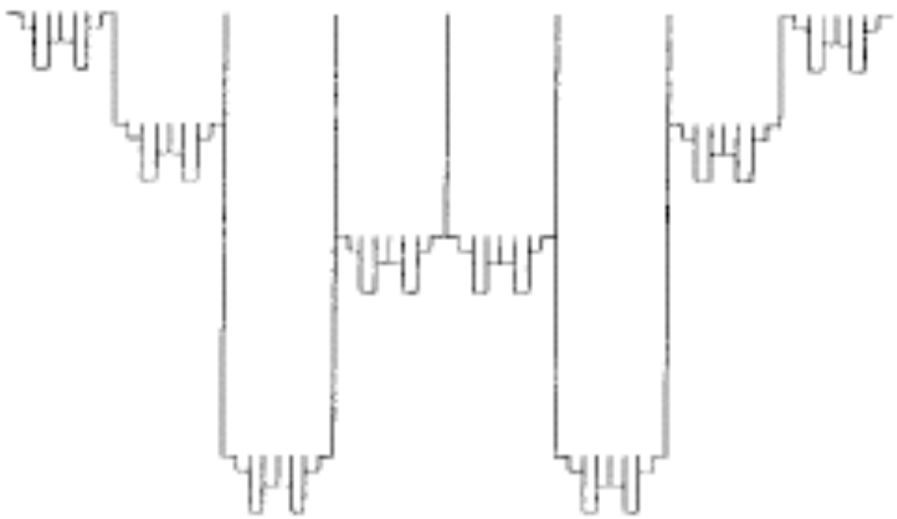


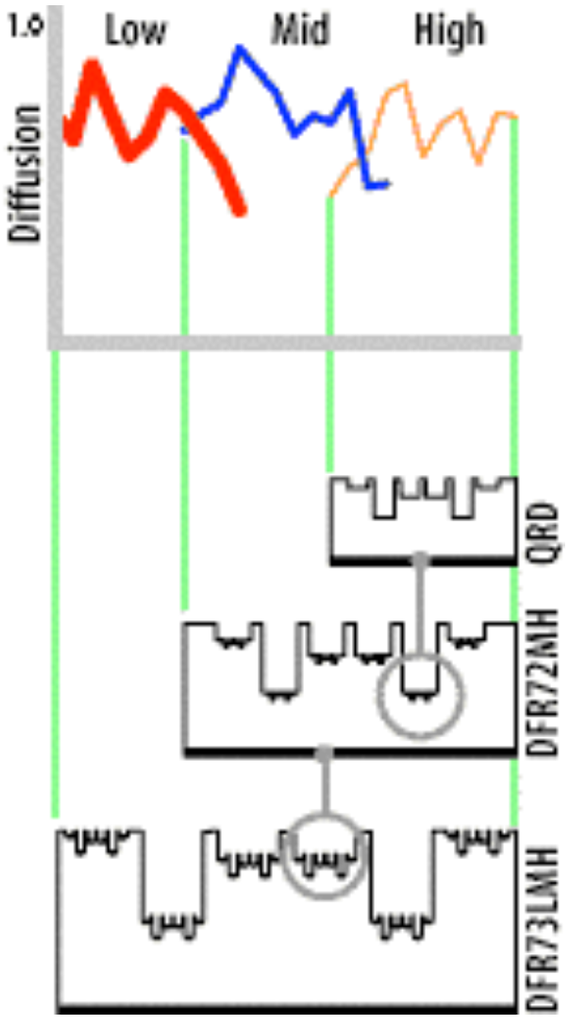


È molto importante capire la frequenza sulla quale agisce il diffusore. Per questo motivo, sulla falsariga della costruzione delle casse a più vie, si costruiscono diffusori a banda larga (Diffractal) che sono tipo dei frattali, ossia in ogni elemento c'è una serie di elementi sempre più piccoli per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





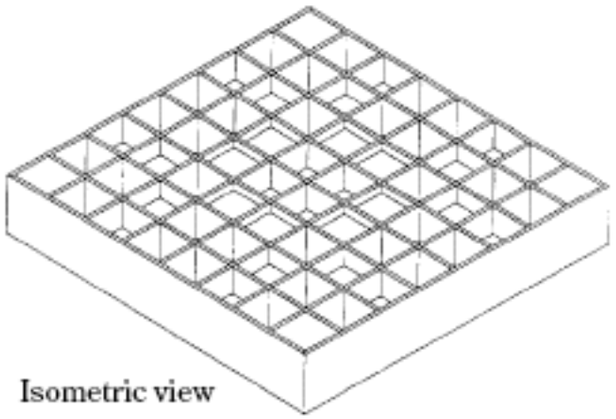


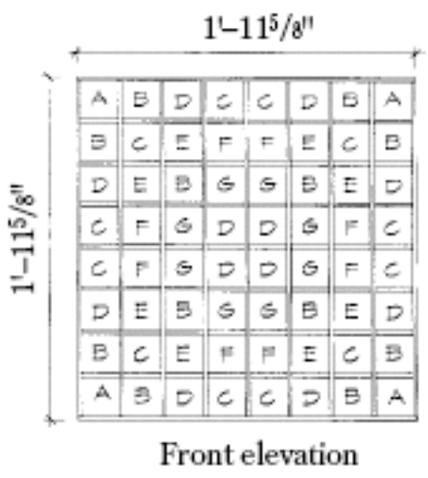


Patented: 2, 027, 658; 5, 027, 920; 4, 964, 486

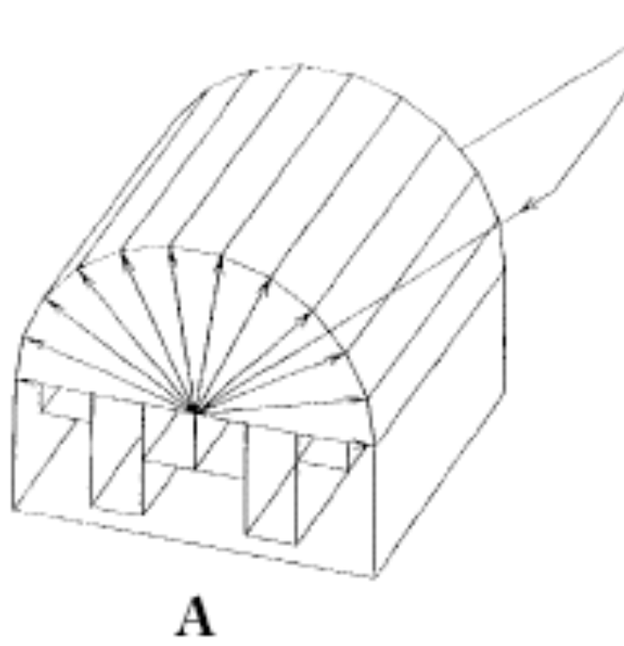
Diffusori in 2d

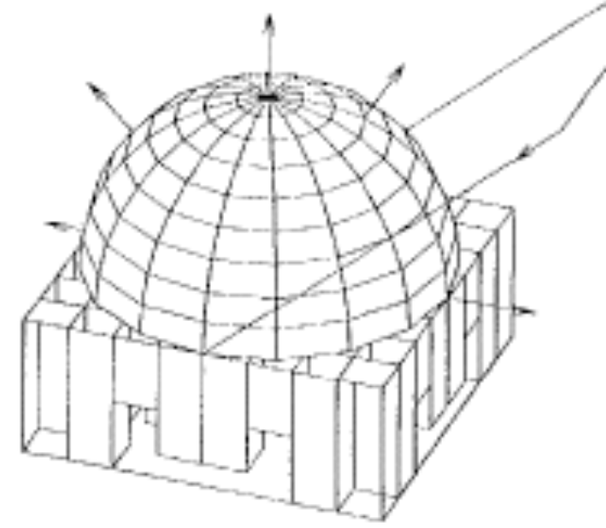
La distribuzione spaziale delle riflessioni provocate da questo tipo di diffusori è a semicerchio ossia in due dimensioni. Per avere una distribuzione sferica bisognerà utilizzare diffusori in tre dimensioni come l'Omniffusor RPG.



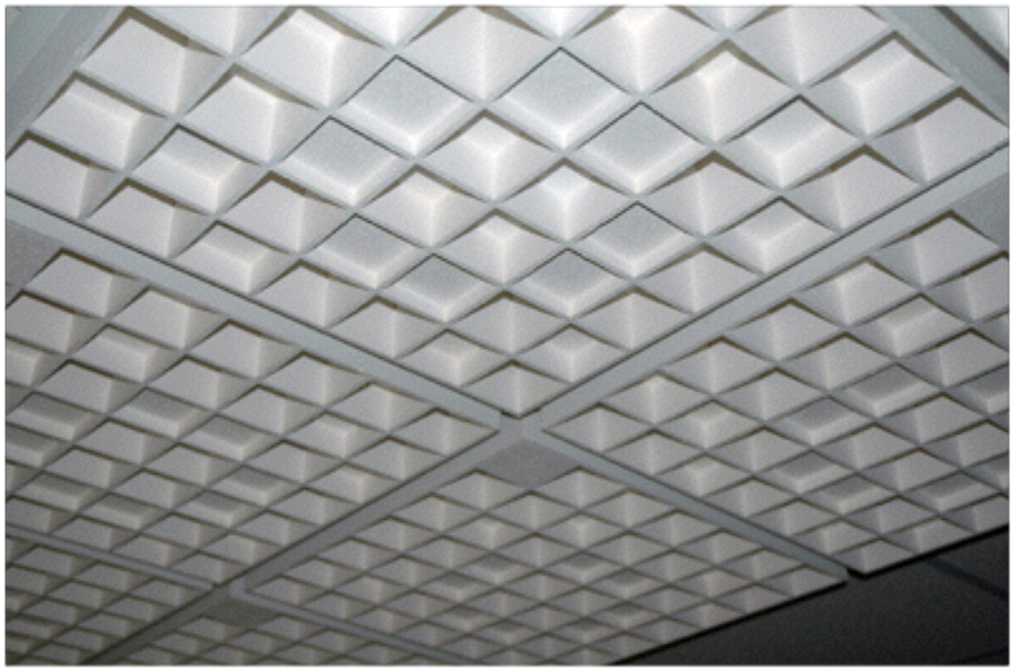


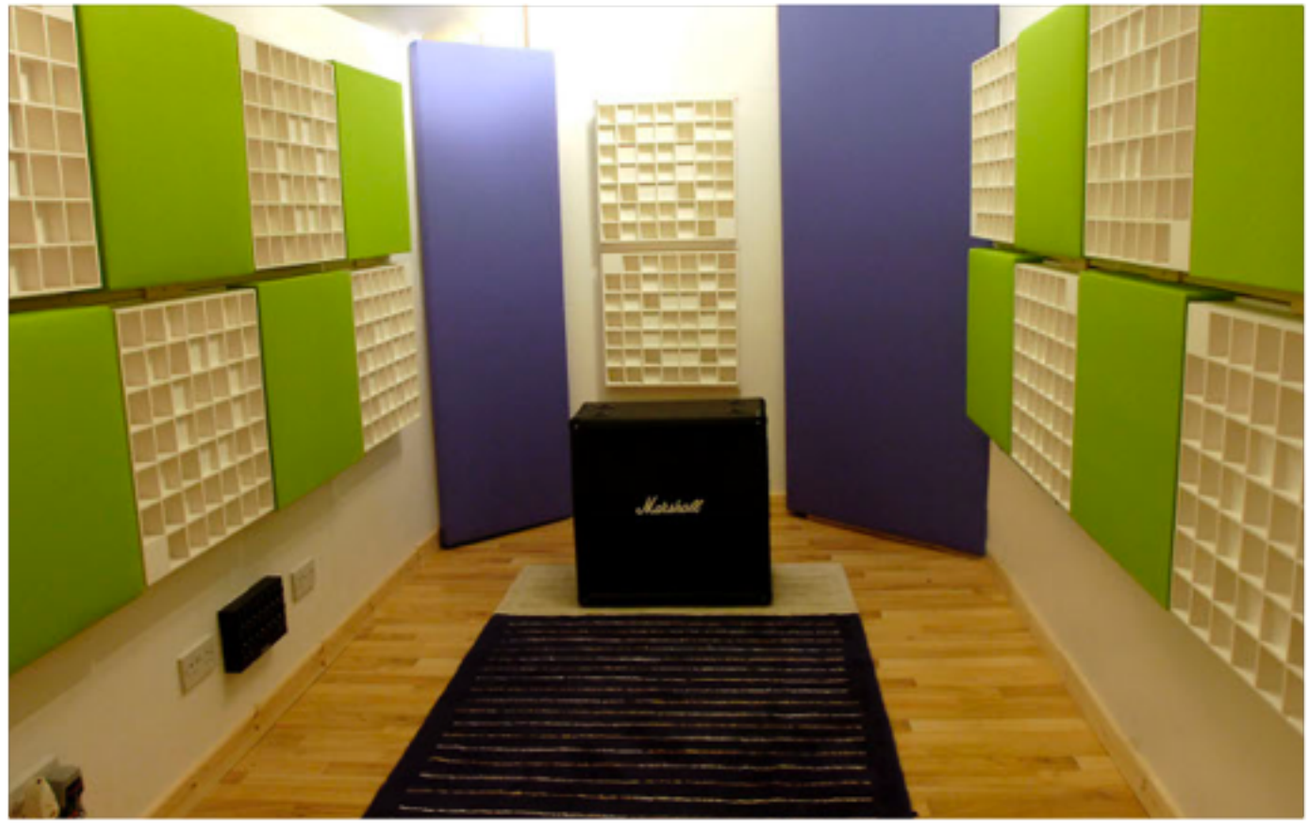
Schema dell'omniffusor





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





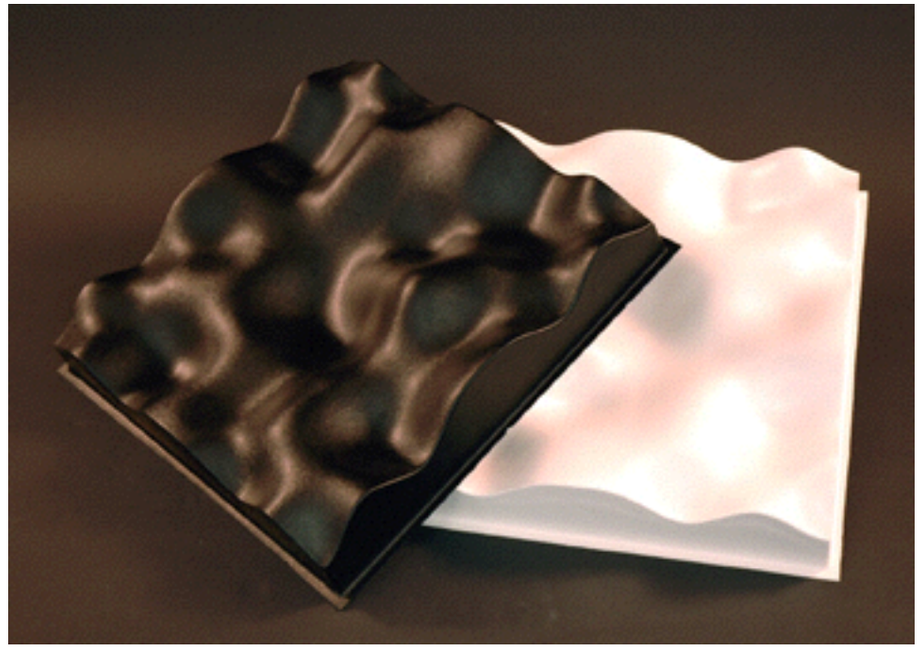
THE
GAME
AGE

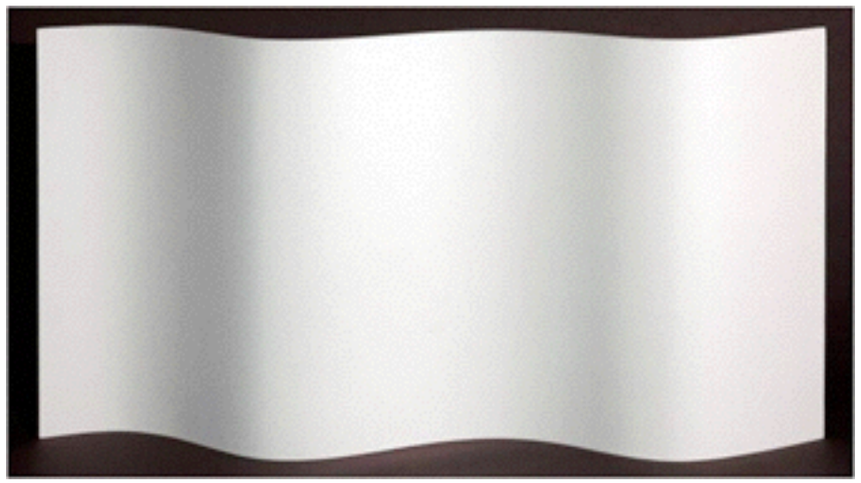
CAMALEA WAVE®

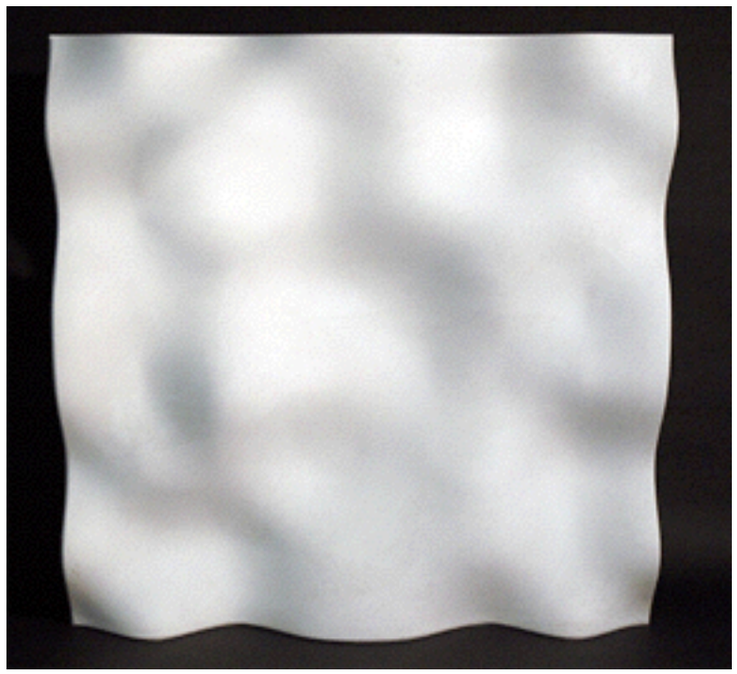
Diffusori a linee curve

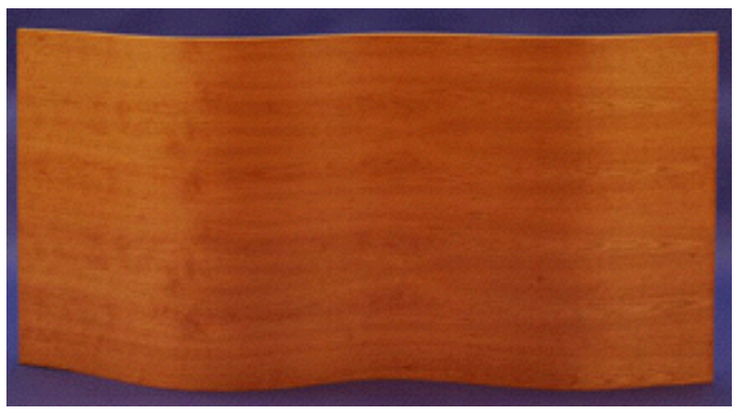
Quando si progetta un diffusore bisogna considerare sia le sue proprietà acustiche che quelle estetiche, e spesso queste sono in conflitto.
Nel design degli ultimi anni sono tornate di moda le linee curve, e si sono trovate nuove soluzioni estetiche per diffondere il suono, sul retro di uno studio o un soffitto di un teatro.

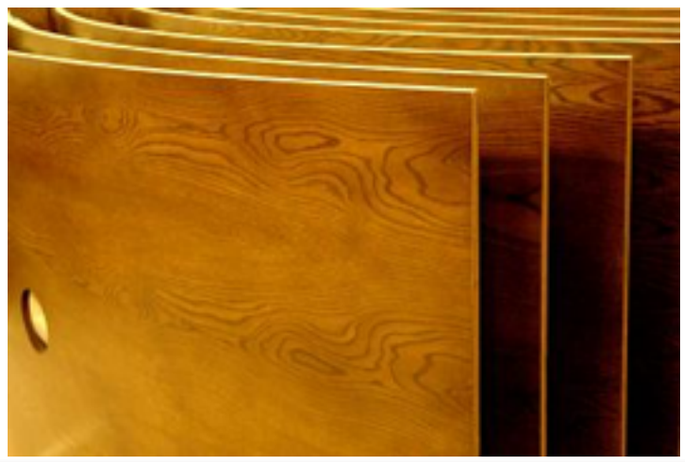
Con simulazioni al computer basate sul calcolo numerico si possono trovare forme curve ottimizzate per la diffusione.

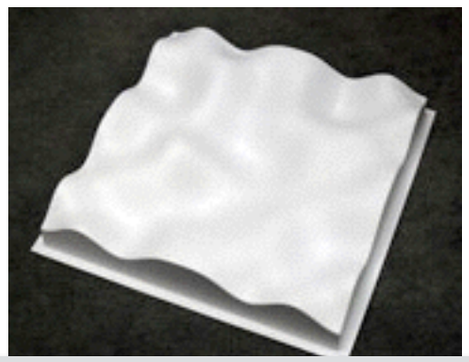






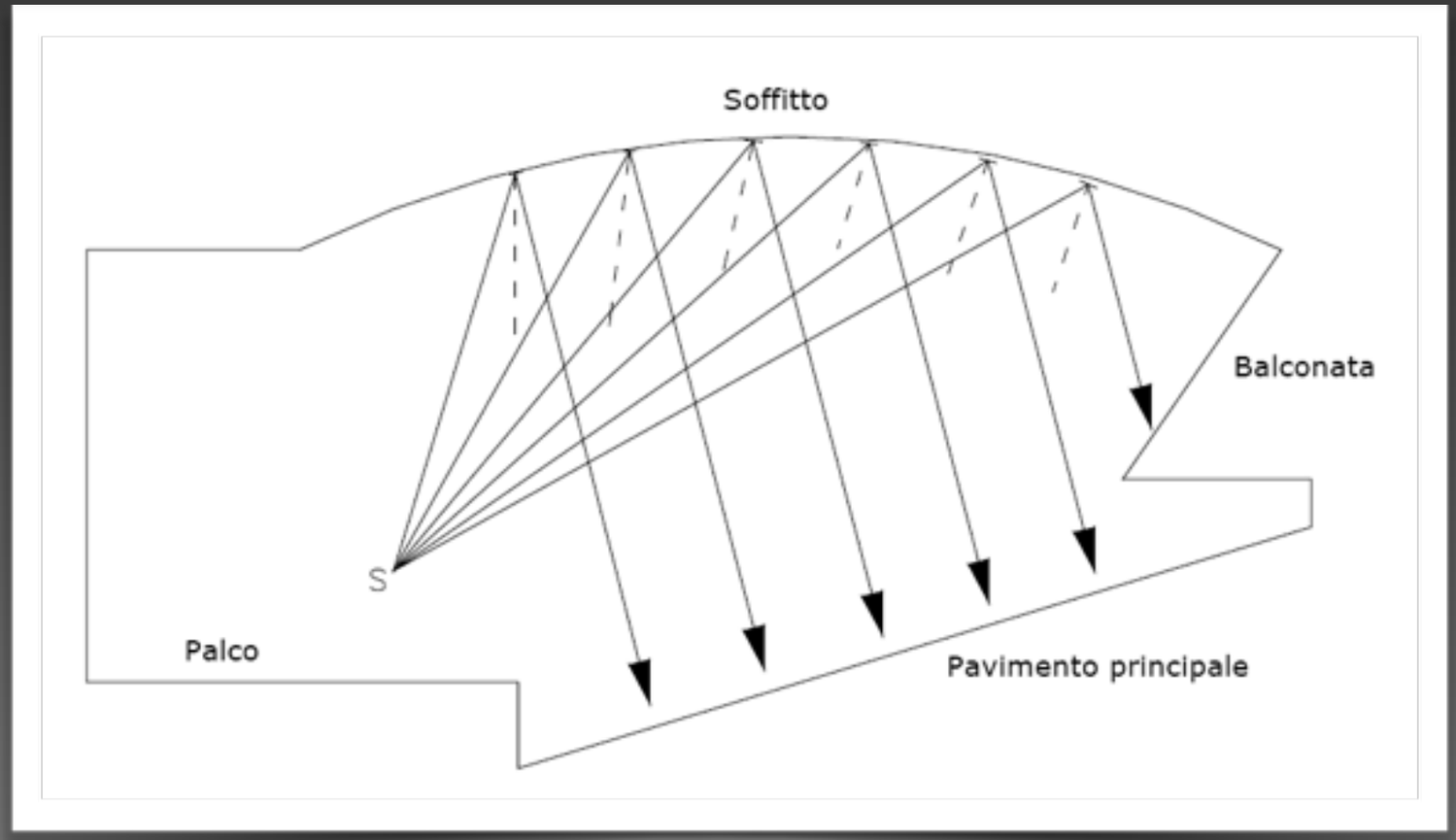




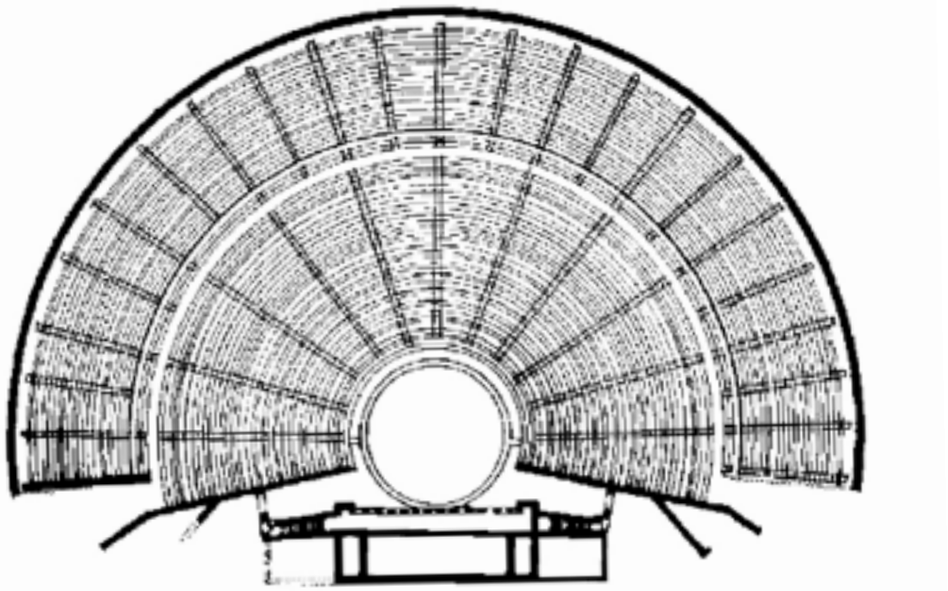


Room Acoustics:
Acustica negli ambienti chiusi

Scienza che studia la propagazione del suono in locali chiusi o comunque in presenza di oggetti capaci di causare effetti significativi di assorbimento e riflessione.

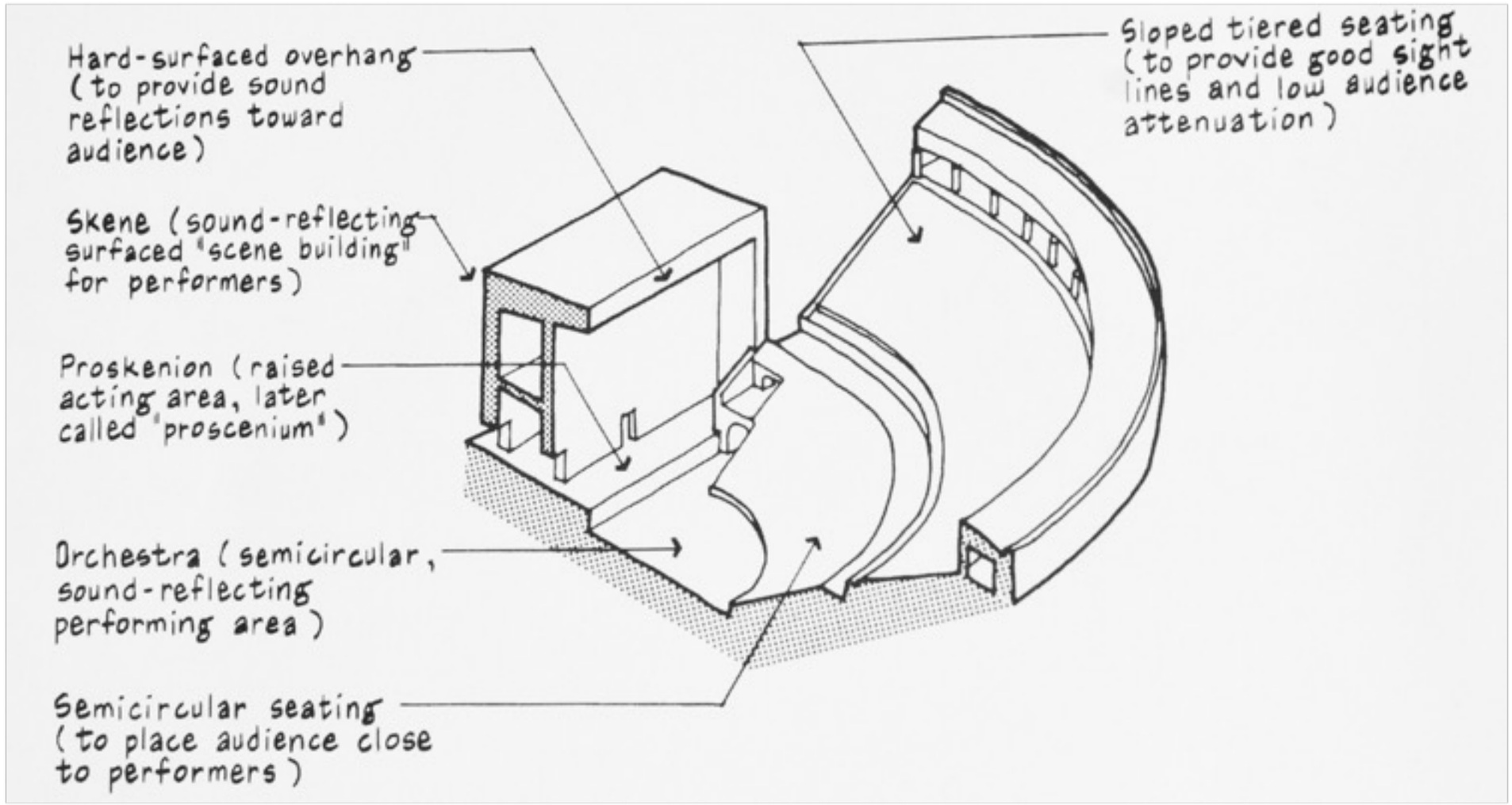


Nell'antichità: i primi teatri



teatro di Epidauro, grecia

Il teatro greco-romano



nell'antichità

venivano spesso collocati in posti silenziosi su fianchi di colline scoscesi;

il layout delle sedute era circolare: questo riduce la perdita di energia sonora per la distanza (al quadrato);

le gradinate venivano disposte con una grande inclinazione superiore ai 20° per fornire buona visuale e far arrivare il suono riflesso dal pavimento dell'*orchestra*, senza che ci fosse attenuazione da parte del pubblico seduto;

i posti non occupati e le teste del pubblico diffondevano il suono verso le aree adiacenti;

gli attori indossavano maschere che rinforzavano la loro voce grazie a dei megafoni conici.

Dopo i greci e i romani?

Ci furono pochissimi miglioramenti nell'acustica, a causa della mancanza dell'elettroacustica e quindi di tutti gli strumenti per misurare le grandezze fisiche legate a questa scienza.

Nel 1857 **Henry** per la prima volta tirò fuori il concetto di impulso, utilizzato spessissimo nella scienza moderna.

"Un singolo impulso di un dente di un ingranaggio è un rumore; da una serie di denti in successione si ha un suono continuo; e se tutti i denti sono ugualmente spaziati, e la velocità della ruota dentata è uniforme, allora si ha una nota musicale".

In seguito suggerì alcuni fattori che potevano essere legati alla buona acustica:

1. la grandezza di una stanza;
2. il livello del suono o l'intensità dell'impulso;
3. la posizione delle superfici riflettenti;
4. la natura del materiale delle superfici riflettenti.

*(È interessante notare come questi fattori siano fortemente legati a quelli descritti da **Yoichi Ando** ossia Listening Level, Initial time delay, IACC e τ_{IACC})*

Wallace Clement Sabine

1868 - 1919

Professore all'Università di Harvard fu il primo fisico a studiare in modo scientifico l'acustica.

Legge di Sabine

Sabine: correzione del Fogg Art Museum ad Harvard

Nella nuova "Lecture Hall" del Fogg Art Museum (Harvard University) il suono persisteva per circa 5.5 s per le multiple riflessioni sulle superfici intonacate della sala. Dato che molte persone che parlano inglese potrebbero completare 15 sillabe in 5.5 s, non c'era praticamente intelligibilità del parlato da nessuna parte nella sala.

Sabine capì che il problema della persistenza dell'energia sonora era dovuta alla grandezza della sala e ai suoi arredi, incluse le persone.
Effettuò molteplici test utilizzando canne da organo come sorgenti e altre strumentazioni. La canna da organo aveva un livello iniziale nella sala di circa 60 dB sopra il livello di percezione di un giovane ascoltatore alla frequenza di 512 Hz.

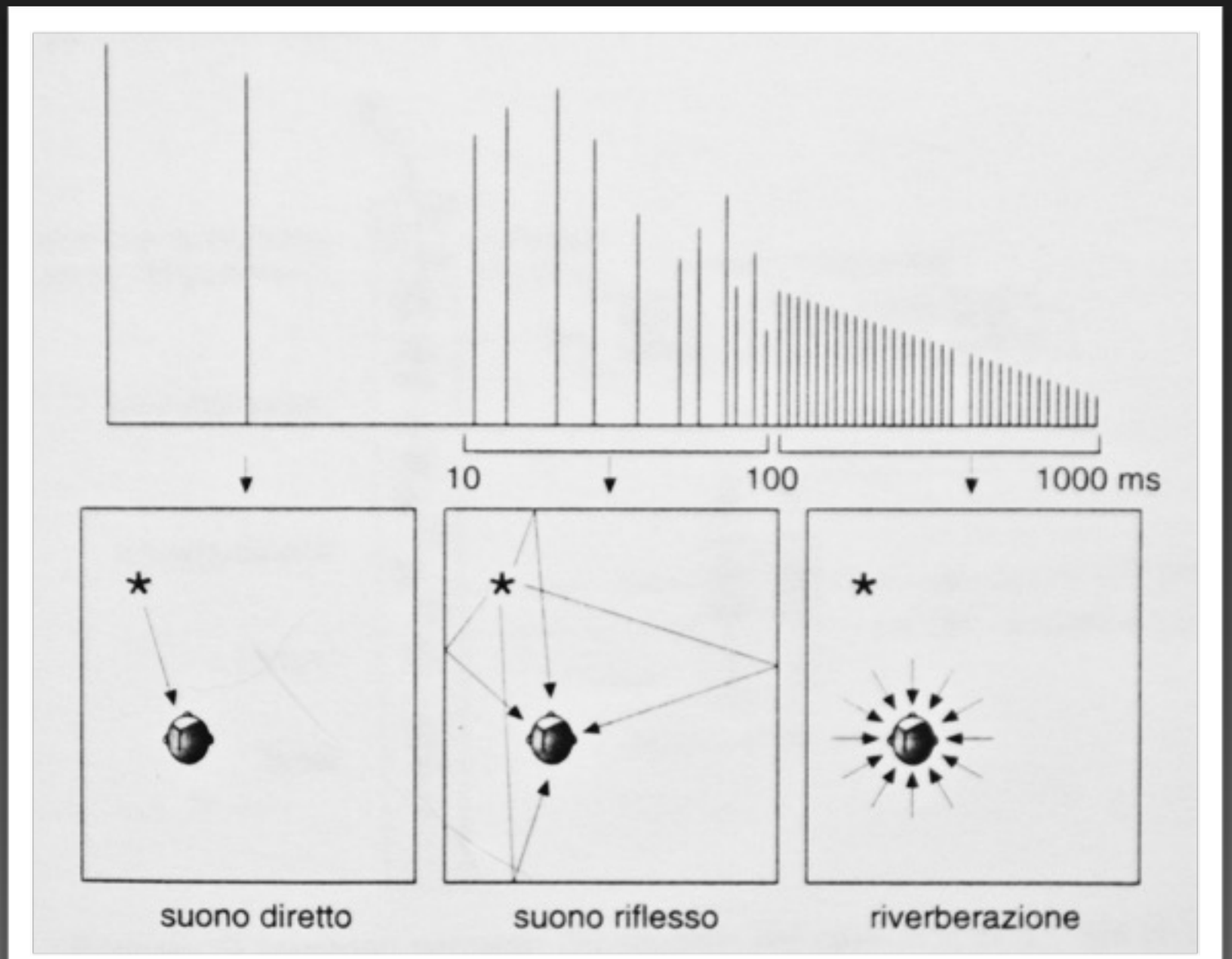
Sabine utilizzò il suo udito disciplinato per giudicare quando la sorgente della canna d'organo cessava di essere udibile: ne misurò il tempo di decadimento con un cronografo e lo definì come *Tempo di Riverberazione*.
Coprì le sedute di materiale poroso fonoassorbente e misurò di quanto diminuiva il tempo di riverberazione nella sala.

Tempo di Riverberazione
RT60

tempo necessario affinché la densità di energia sonora decresca di 60 dB dal valore originario dopo che la sorgente abbia cessato di vibrare

Legge di Sabine: $$\mathrm{RT60}\ [\mathrm{s}] = 0.161 \frac{V\ [\mathrm{m}^3]}{A\ [\mathrm{m}^2]}$$

Suono in un ambiente chiuso



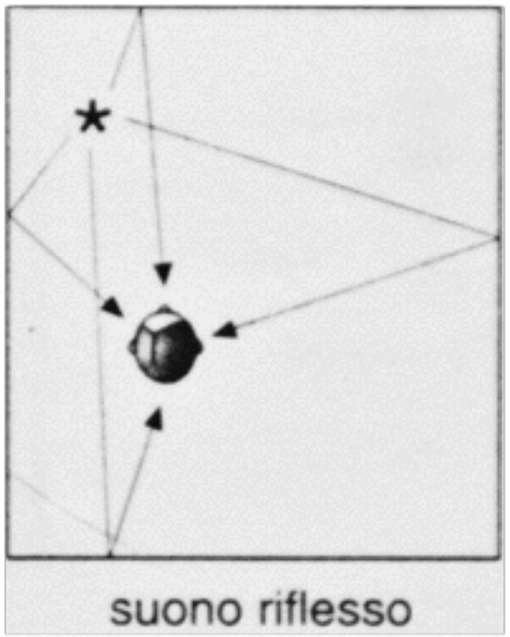
Suono diretto

Il **Suono diretto** trasmette informazioni relative a:

1. posizione della sorgente;
2. dimensione della sorgente;
3. vero timbro della sorgente.

L’ammontare di assorbimento che si verifica quando il suono viene riflesso da una superficie non è uguale a tutte le frequenze; perciò il timbro del suono riflesso è influenzato dalle caratteristiche della superficie che ha incontrato.

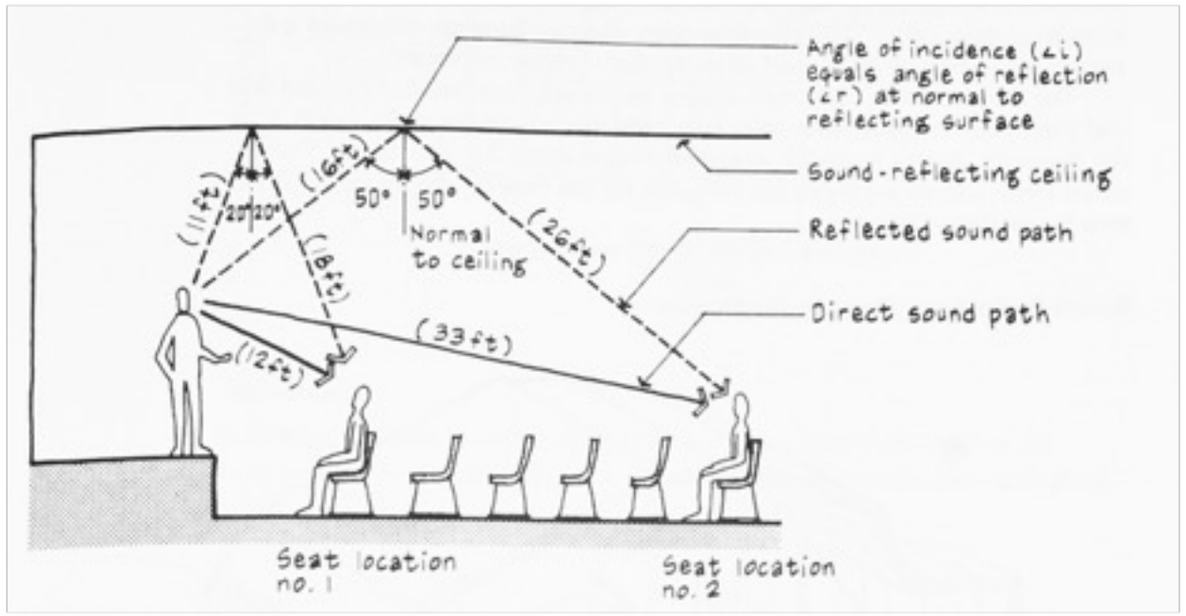
Prime Riflessioni



Le **Prime riflessioni** raggiungono l'orecchio entro 30÷80 millisecondi dal suono diretto: queste riflessioni sono il risultato di onde che hanno incontrato poche superfici prima di arrivare all'ascoltatore, e possono giungere da direzioni diverse rispetto al suono diretto.

L'**intervallo di tempo** che intercorre fra l'ascolto del suono diretto e l'inizio delle prime riflessioni fornisce informazioni sulla dimensione della stanza in cui si verifica l'evento sonoro: più lontane sono le superfici rispetto all'ascoltatore, maggiore sarà il tempo che il suono impiega per raggiungerle e per venire poi riflesso verso l'ascoltatore stesso.

Fusione Temporale



Le prime riflessioni che giungono all'orecchio umano entro 30÷80 millisecondi dal suono diretto, oltre a non risultare udibili, sono effettivamente **fuse con il suono diretto** stesso.

L'orecchio umano non riesce a distinguere separatamente suoni che si verificano molto ravvicinati nel tempo e considera le riflessioni come parte del suono diretto.
Il limite di tempo per la fusione temporale non è assoluto: dipende piuttosto dall'inviluppo del suono. La fusione si interrompe a 4 ms nel caso di transienti, anche se può arrivare fino a 80 ms nel caso di suoni che cambiano lentamente, come ad esempio il legato dei violini.

Nonostante le prime riflessioni siano soppresse e risultino amalgamate con il suono diretto, esse modificano la nostra percezione del suono, rendendolo più pieno e più intenso.

…dopo le prime riflessioni

I suoni che raggiungono l'ascoltatore in un istante successivo a 30÷80 ms dopo il suono diretto, sono stati riflessi da un numero tale di superfici diverse che cominciano a raggiungere l'ascoltatore in un flusso virtualmente continuo e da tutte le direzioni.

Queste onde ravvicinate sono dette **riverberazione**: la riverberazione è caratterizzata da una diminuzione graduale di ampiezza e dal fatto che conferisce calore e corposità al suono; inoltre contribuisce anche alla sua intensità.

A causa delle molte riflessioni, il timbro della riverberazione è molto diverso rispetto al suono diretto, e la differenza principale è un taglio delle alte frequenze e una conseguente enfatizzazione delle basse.

Riverberazione

Persistenza del suono dopo che la sorgente sonora ha cessato di vibrare.

È causata dalla riflessione continuata delle onde sonore sulle superfici dell'ambiente in cui si propagano.

in ogni riflessione l'intensità del suono viene ridotta di un fattore *x<1*, dopo N riflessioni risulterà ridotta di un fattore x^N:

$$I = I_0 x^{t/\Delta T} = I_0 e^{-t/\tau}$$

andamento esponenziale decrescente

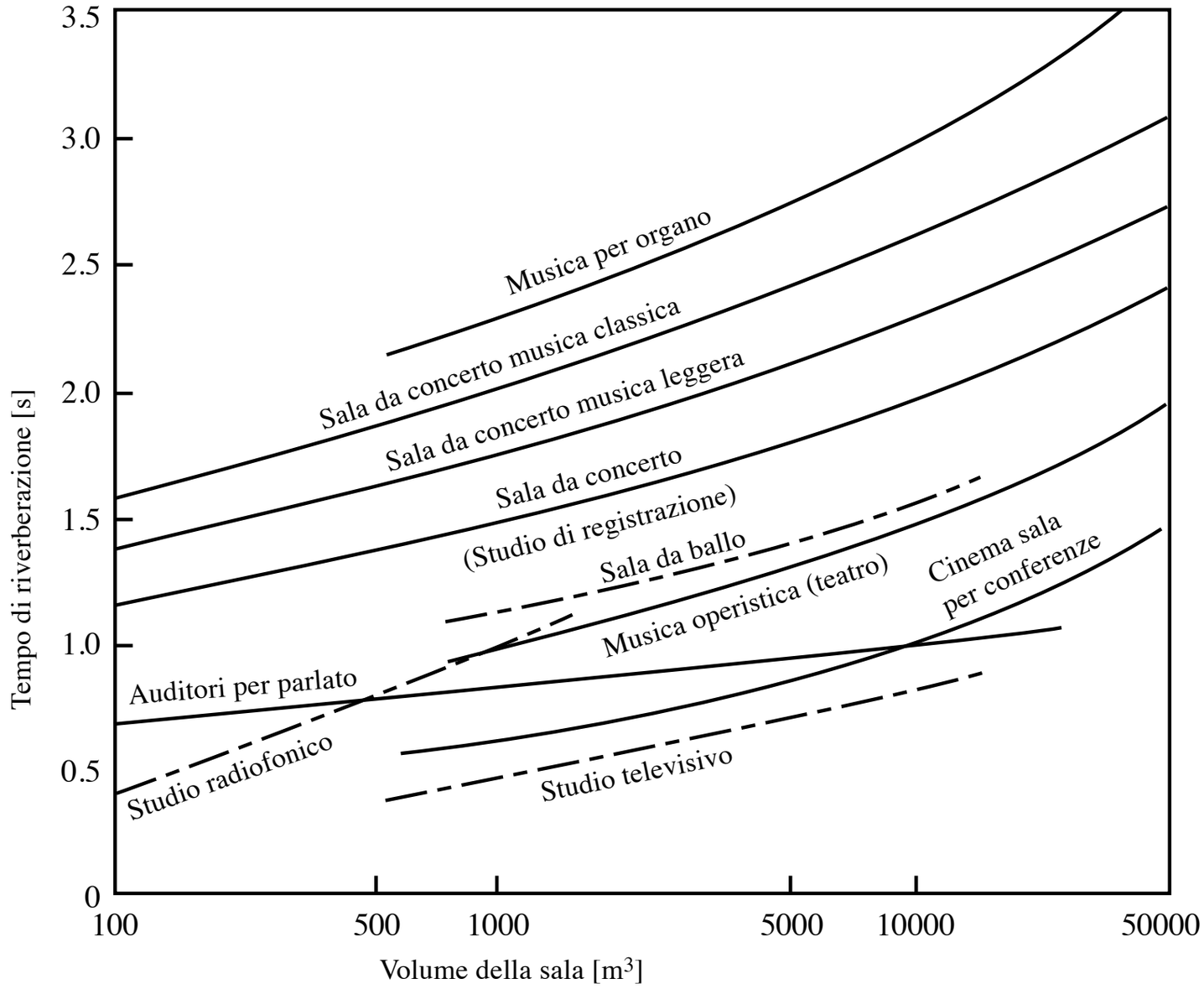
Tempo di riverberazione ottimale

Per la migliore intelligibilità si deve avere nel punto di ascolto un'intensità sonora sufficiente ed una dispersione temporale non eccessiva del suono emesso dalla sorgente

RIVERBERAZIONE: ruolo duplice

(+) innalza l'intensità sonora rispetto a quella del suono diretto;
(-) aumenta la dispersione temporale, incidendo negativamente sulla comprensione delle note e dei fonemi.

Il tempo di riverberazione deve assumere un valore ottimale in modo da offrire il miglior compromesso possibile.



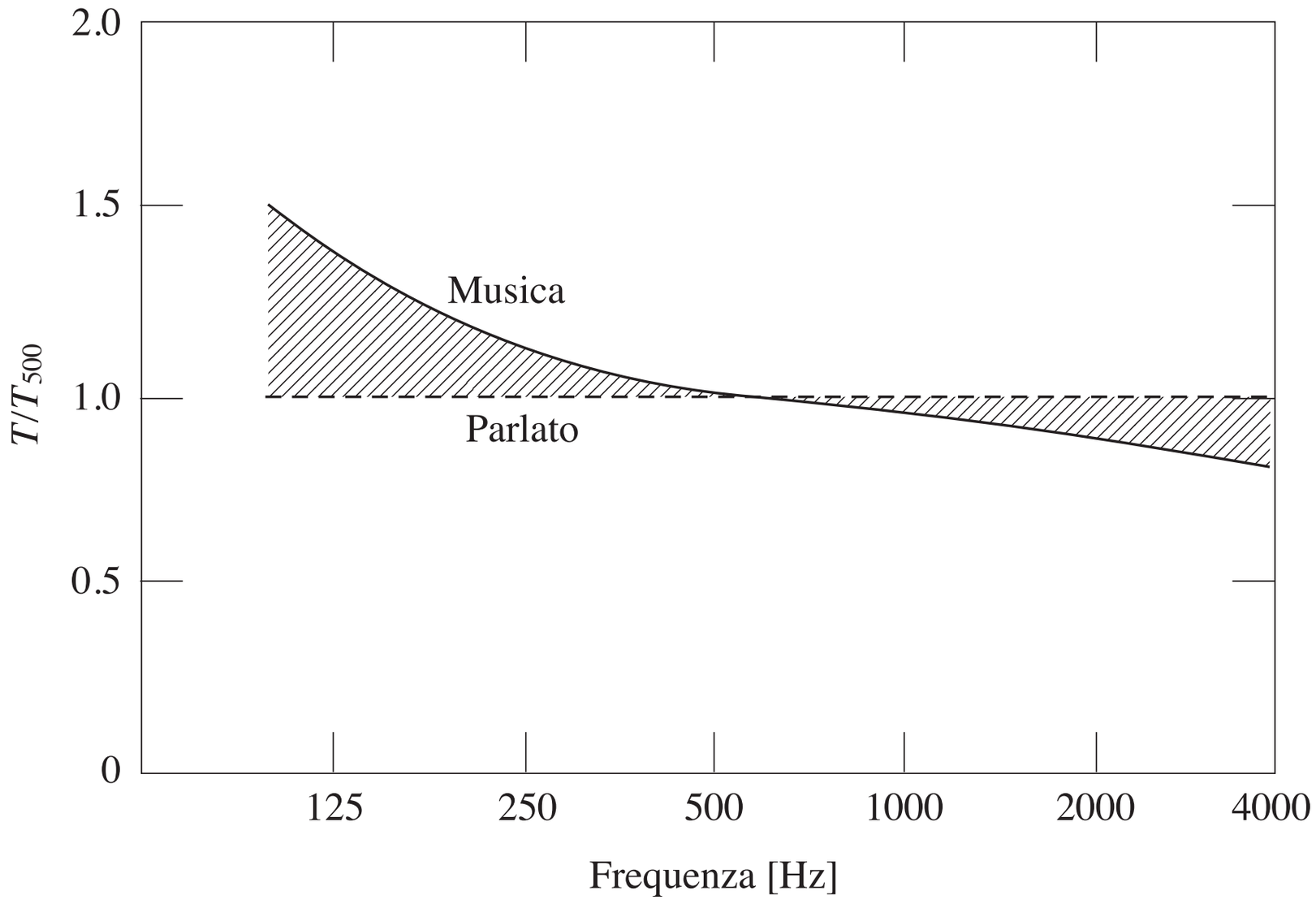
il valore ottimale cresce all'aumentare del volume della sala per una determinata destinazione d'uso:

formule empiriche
(V in m^3)

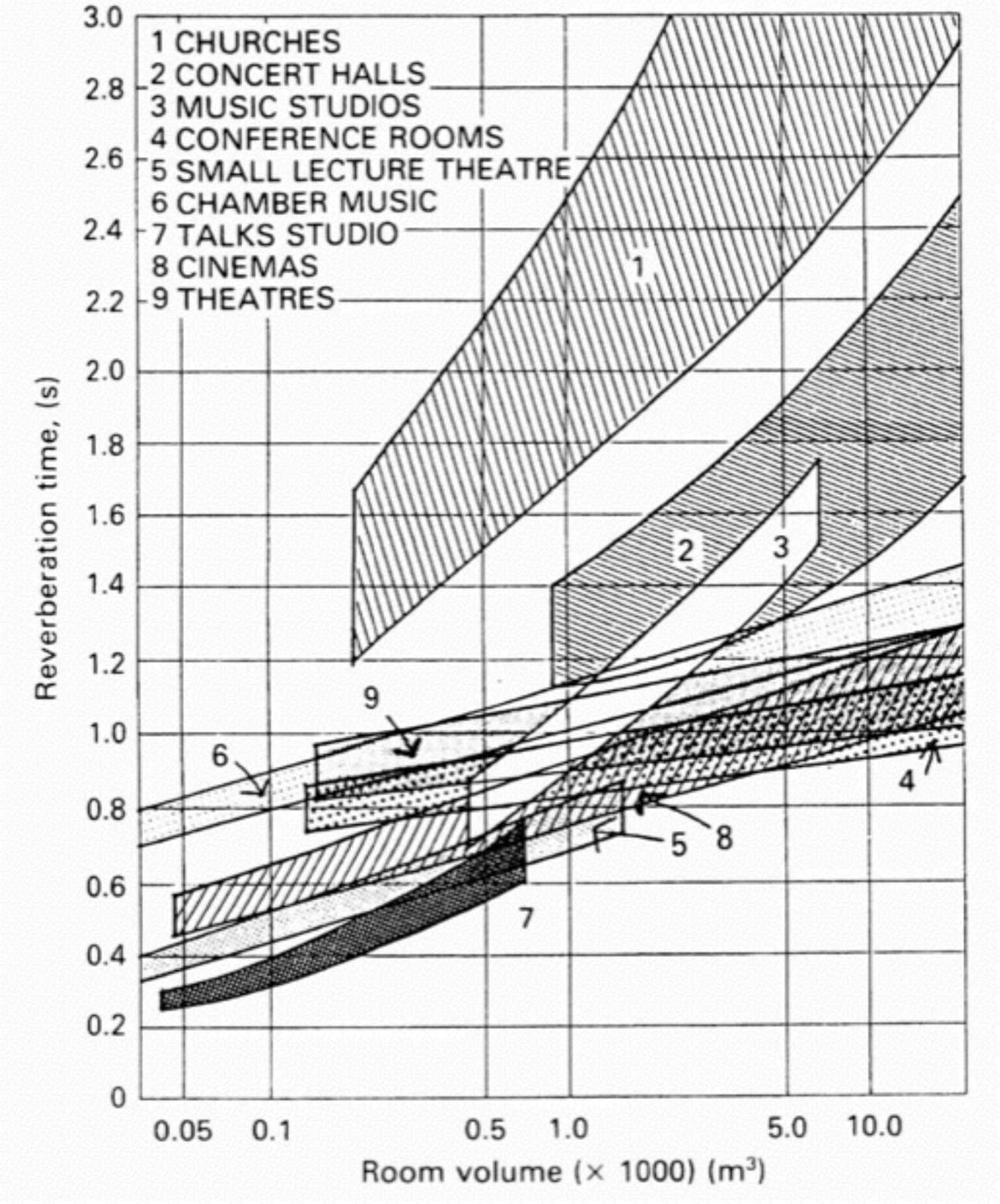
$$\mathrm{RT60}_{parlato} = 0.1\ V^{1/3}$$

$$\mathrm{RT60}_{musica} = 0.5 + 10^{-4}\ V$$

andamento del tempo di riverberazione ottimale in funzione della frequenza:



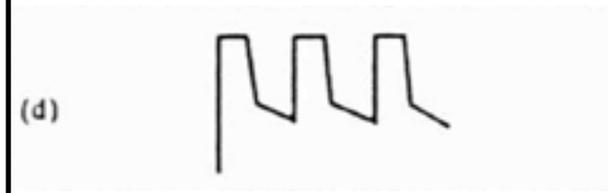
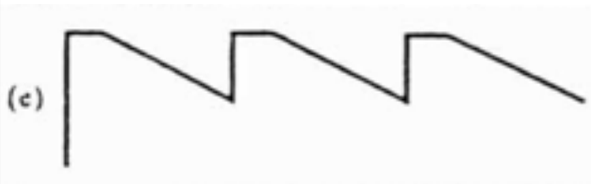
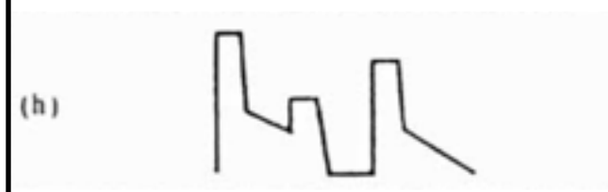
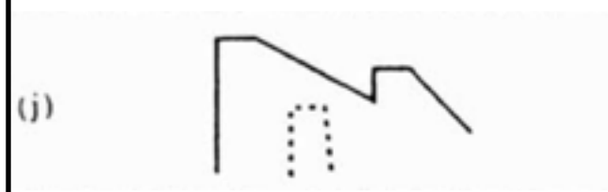
il tempo di riverberazione ottimale alle frequenze più basse può quasi raddoppiare rispetto al valore corrispondente a 500 Hz


1 CHURCHES
2 CONCERT HALLS
3 MUSIC STUDIOS
4 CONFERENCE ROOMS
5 SMALL LECTURE THEATRE
6 CHAMBER MUSIC
7 TALKS STUDIO
8 CINEMAS
9 THEATRES
Reverberation time, (s)
3.0
2.8
2.6
2.4
2.2
2.0
1.8
1.6
1.4
1.2
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0
0.05
0.1
0.5
1.0
5.0
10.0
Room volume (× 1000) (m³)

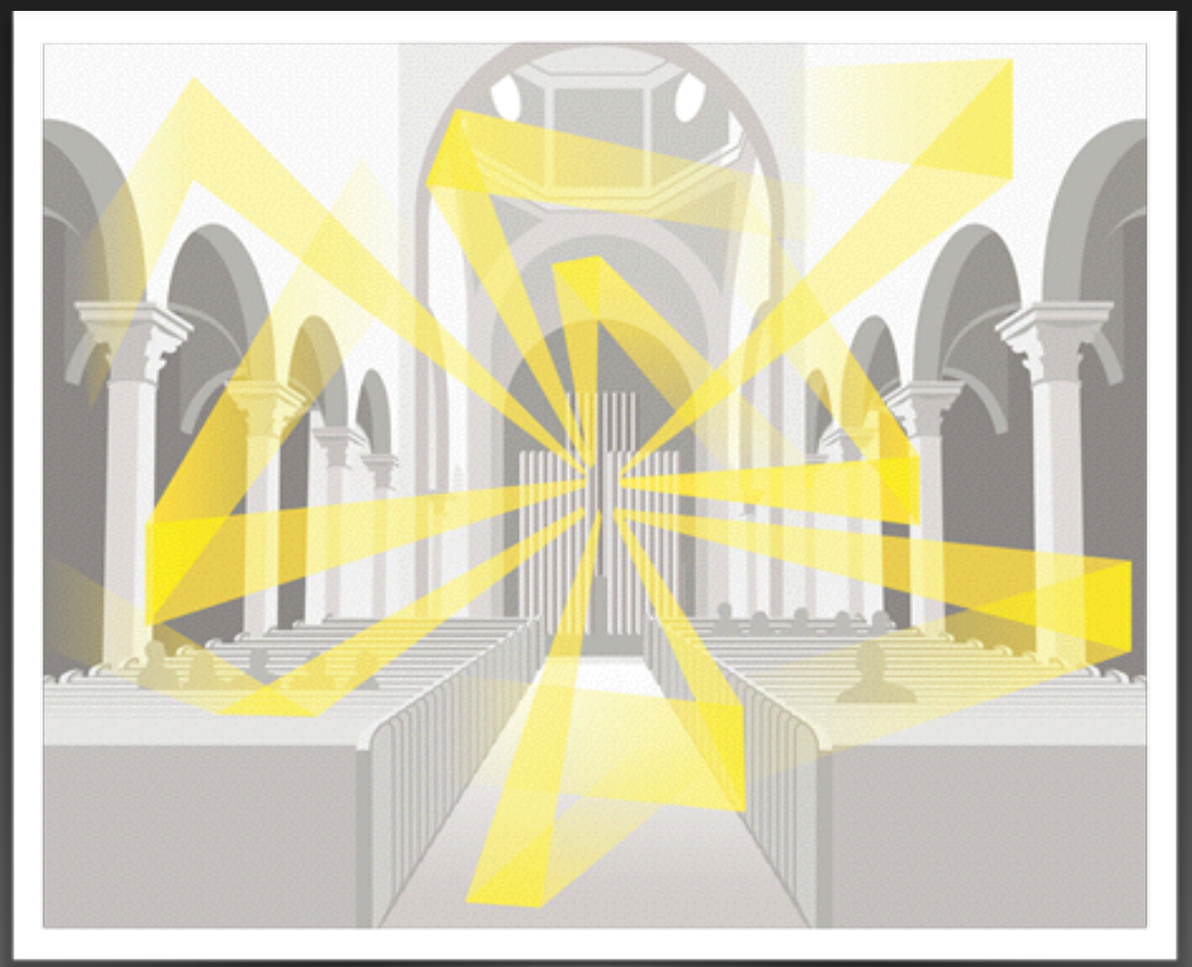
Valori di RT60 relativi a importanti sale acusticamente efficienti

Sala	$V/10^3$ [m^3]	$S/10^3$ [m^2]	Tempo di riverber. [s] a varie frequenze [Hz] 125	250	500	1000	2000	4000	Prima riflessione [ms]	Posti
Gerusalemme, Binyanei Ha'oomah	24.7	2.4	2.2	2.0	1.75	1.75	1.65	1.5	13-26	3100
New York, Carnegie Hall (pre-rest.)	24.3	2.0	1.8	1.8	1.8	1.6	1.6	1.4	16-23	2800
Boston, Symphony Hall	18.7	1.6	2.2	2.0	1.8	1.8	1.7	1.5	7-15	2600
Amsterdam, Concertgebouw	18.7	1.3	2.2	2.2	2.1	1.9	1.8	1.6	9-21	2200
Glasgow, St. Andrew's Hall	16.1	1.4	1.8	1.8	1.9	1.9	1.8	1.5	8-20	2100
Philadelphia, Academy of Music	15.7	1.7	1.4	1.7	1.45	1.35	1.25	1.15	10-19	3000
Bristol, Colston Hall	13.5	1.3	1.85	1.7	1.7	1.7	1.6	1.35	6-14	2200
Bruxelles, Palais des Beaux Arts	12.5	1.5	1.9	1.75	1.5	1.35	1.25	1.1	4-23	2200
Göteborg, Konzerthus	11.9	1.0	1.9	1.7	1.7	1.7	1.55	1.45	22-23	1400
Lipsia, Neues Gewandhaus	10.6	1.0	1.5	1.6	1.55	1.55	1.35	1.2	6-8	1600
Basilea, Stadt–Casino	10.5	0.9	2.2	2.0	1.8	1.6	1.5	1.4	6-16	1400
Cambridge (Mass.), Kresge Auditorium	10.0	1.0	1.65	1.55	1.5	1.45	1.35	1.25	10-15	1200
Buenos Aires, Teatro Colon	20.6	2.1	—	—	1.7	—	—	—	13-19	2800
New York, Metropolitan Opera	19.5	2.6	1.8	1.5	1.3	1.1	1.0	0.9	18-22	2800
Milano, Teatro alla Scala	11.2	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.0	0.9	12-15	2500

Fig. 1.3. Tempi di riverberazione alle varie frequenze di alcune sale da concerto (da KINSLER, *Fundamentals of Acoustics* 4ª ed.).

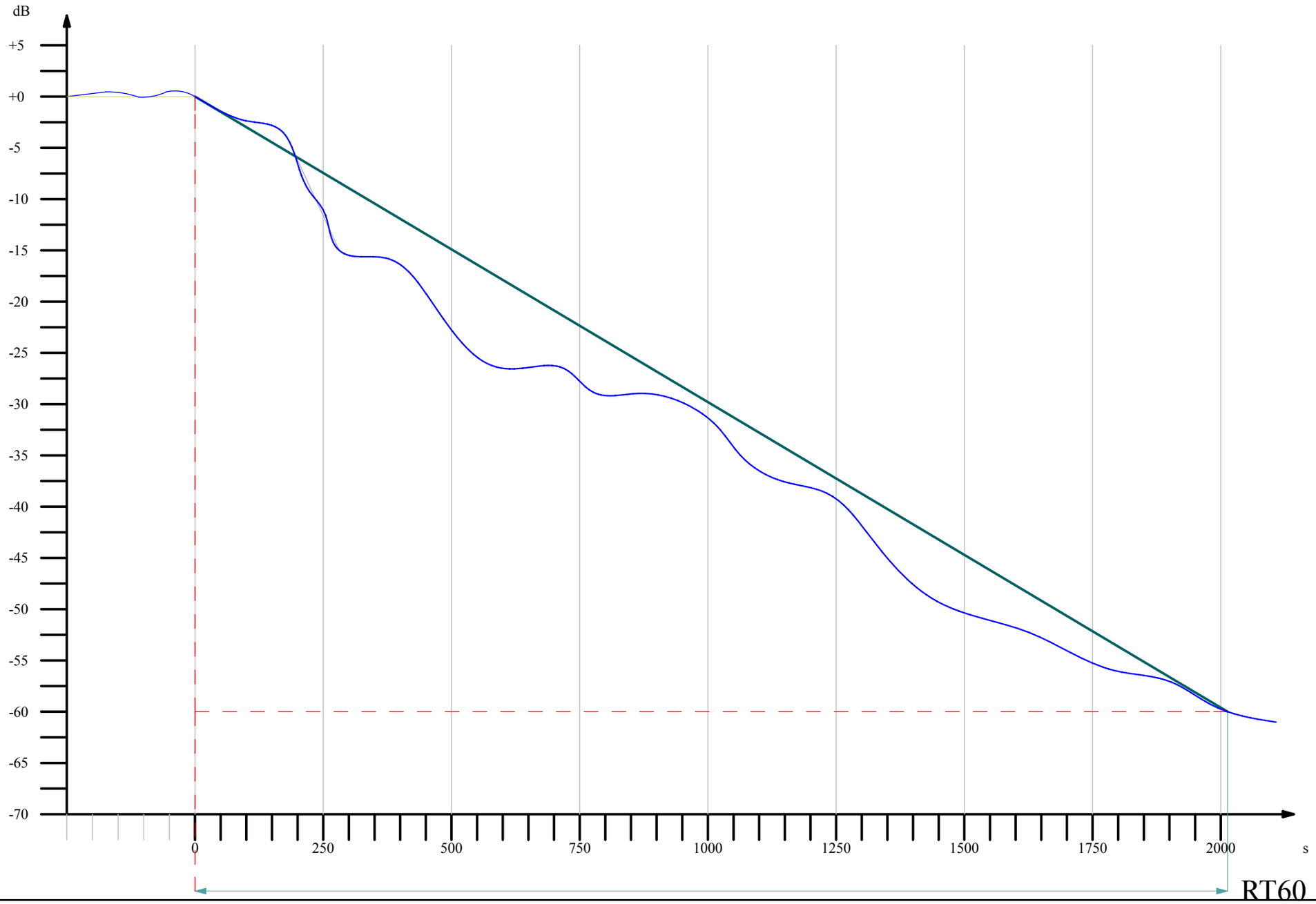
	Condizioni acustiche		Note suonate lentamente		Note suonate velocemente	
	Tempo di riverberazione	Rapporto tra Loudness: suono diretto vs. suono riverberante	Risultato acustico-musicale	definizione e pienezza dei toni	Risultato acustico-musicale	definizione e pienezza dei toni
Toni alla stessa loudness	corto	grande		Alta definizione irrilevante pienezza dei toni		Alta definizione irrilevante pienezza dei toni
	lungo	medio		Alta definizione una piccola pienezza dei toni		Alta definizione una piccola pienezza dei toni
	lungo	piccolo		Media definizione alta pienezza dei toni		Bassa definizione alta pienezza dei toni
Toni a diverse loudness	lungo	medio		Alta definizione una piccola pienezza dei toni		Alta definizione una piccola pienezza dei toni
	lungo	piccolo		Bassa definizione alta pienezza dei toni		Molto bassa definizione alta pienezza dei toni

Tempi di riverberazione



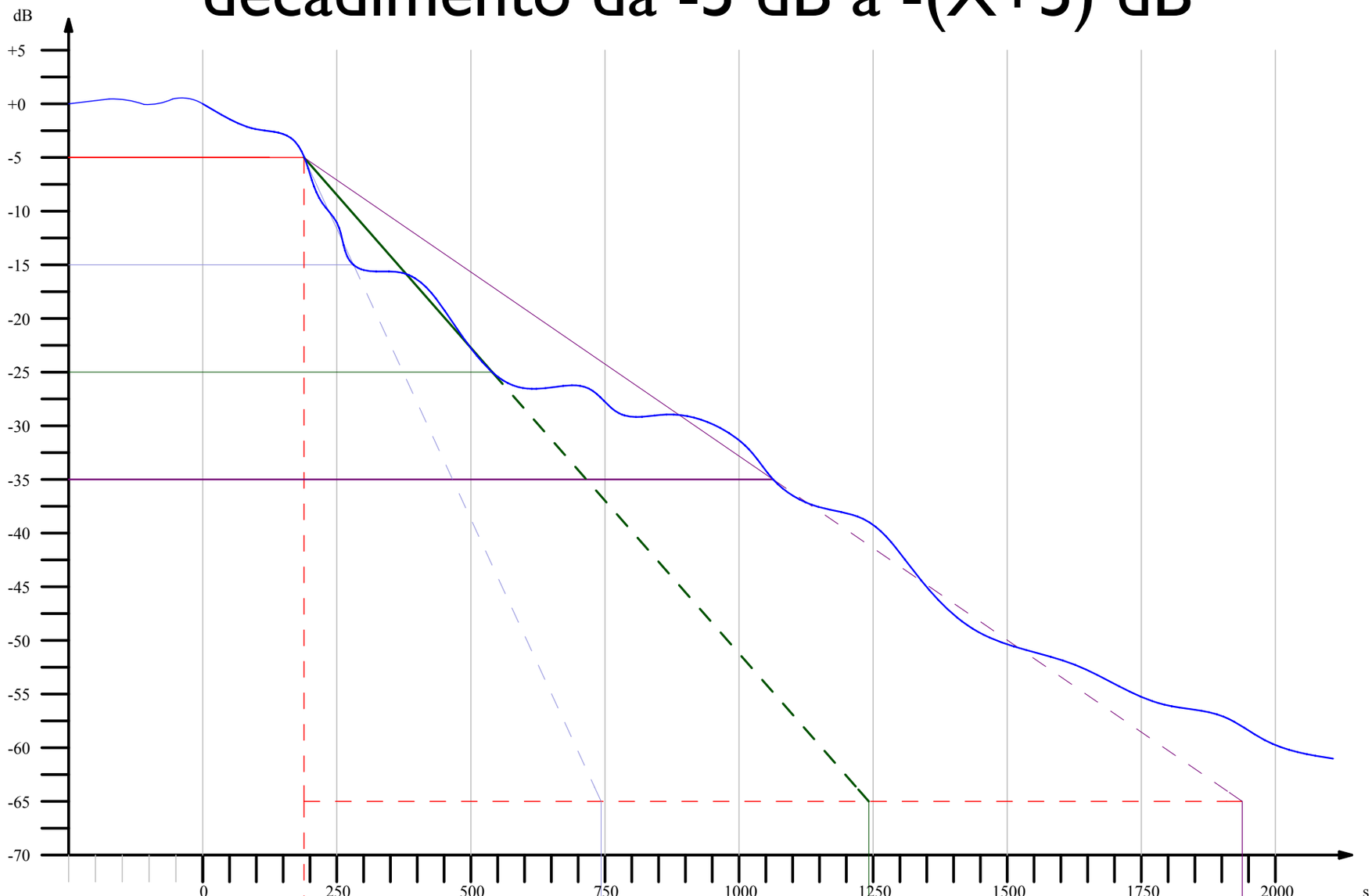
parametri relativi ai tempi di riverberazione tratti dalla normativa ISO3382

RT60


dB
+5
+0
-5
-10
-15
-20
-25
-30
-35
-40
-45
-50
-55
-60
-65
-70
0
250
500
750
1000
1250
1500
1750
2000
s
RT60

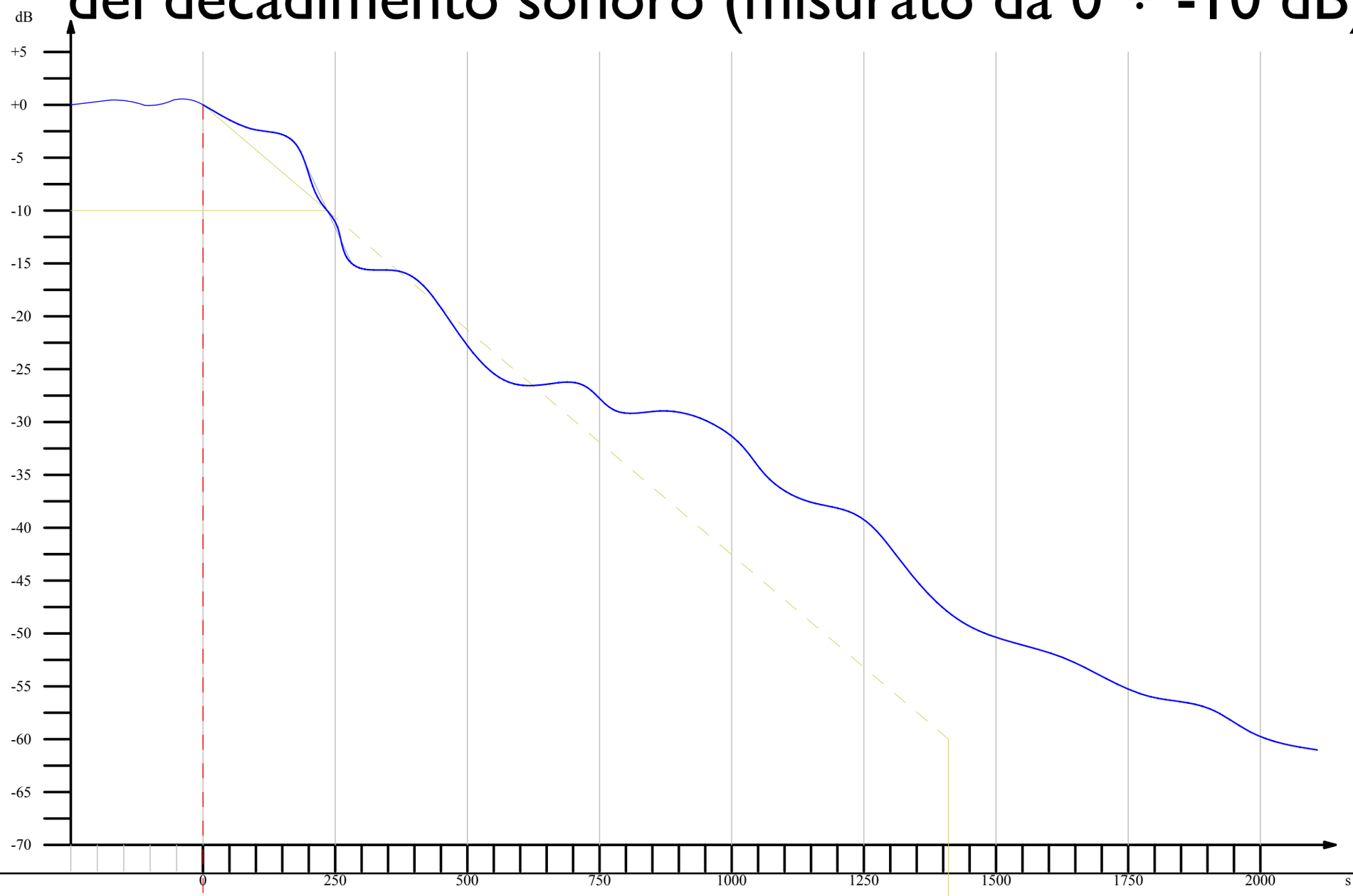
T10 - T20 - T30 - TX

è pari a 60/X volte il tempo di riverberazione calcolato sul decadimento da -5 dB a -(X+5) dB



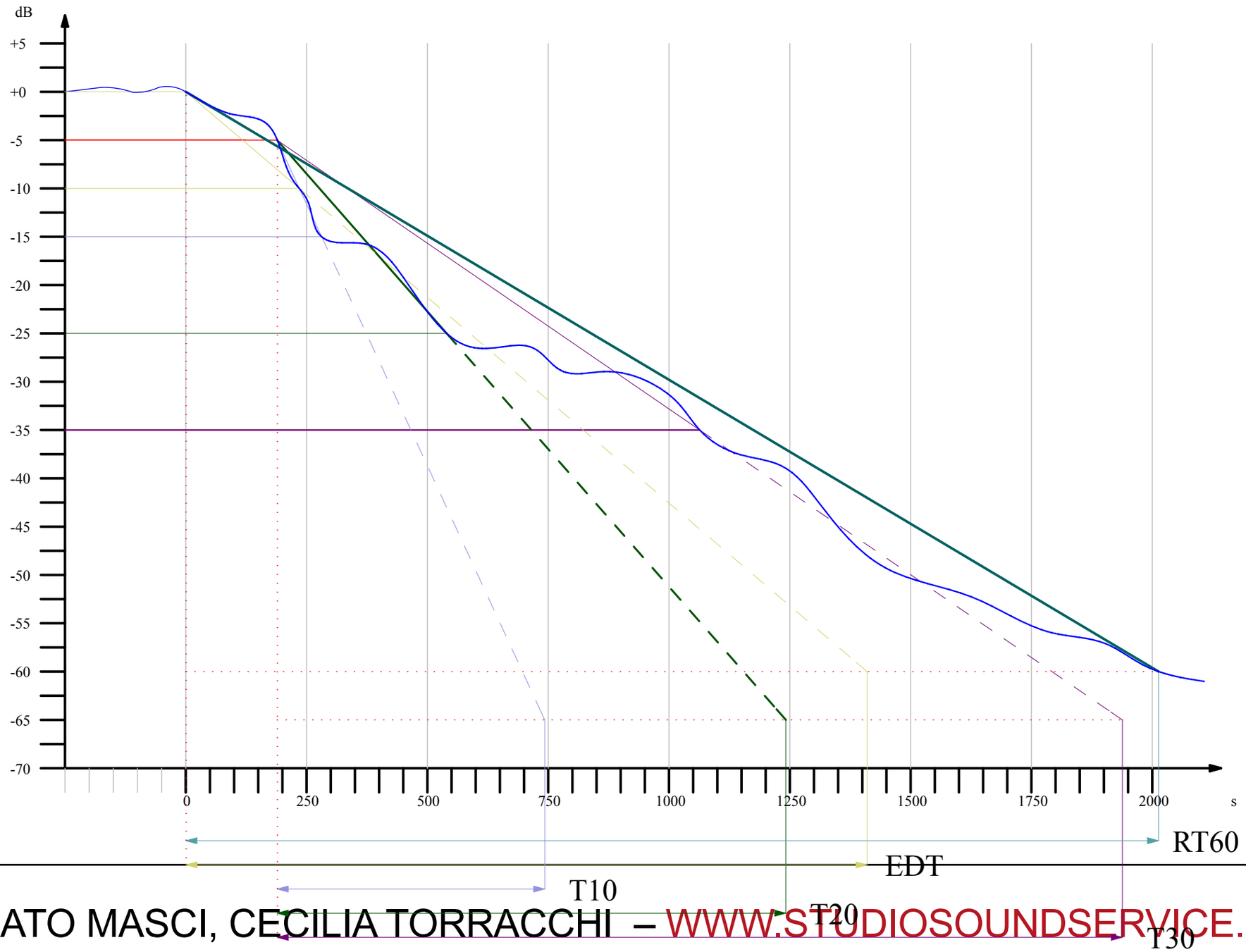
EDT

è pari a sei volte il tempo di riverberazione calcolato sui primi 10 dB del decadimento sonoro (misurato da 0 ÷ -10 dB)



Visualizzazione Totale

Tutti i tempi di riverberazione per questo decadimento



Un decadimento di un campo acustico perfettamente diffuso è di tipo esponenziale (come il fenomeno della riverberazione) e quindi è una retta nella scala dei dB: in questo caso tutti i parametri per stimare il tempo di riverberazione sono uguali (EDT, RT60, Txx).

- **Il confronto tra i vari parametri ci dà una stima della diffusione dell'ambiente.**

- Se un ambiente è ad esempio di due volumi si nota parecchio la discrepanza tra i parametri lunghi e brevi.

- È fondamentale studiare anche il comportamento in frequenza dell'RT.

Considerazioni su RT

- T20 e T30 sono poco variabili con la posizione invece l'EDT risente del suono diretto e delle prime riflessioni e quindi è molto più variabile.

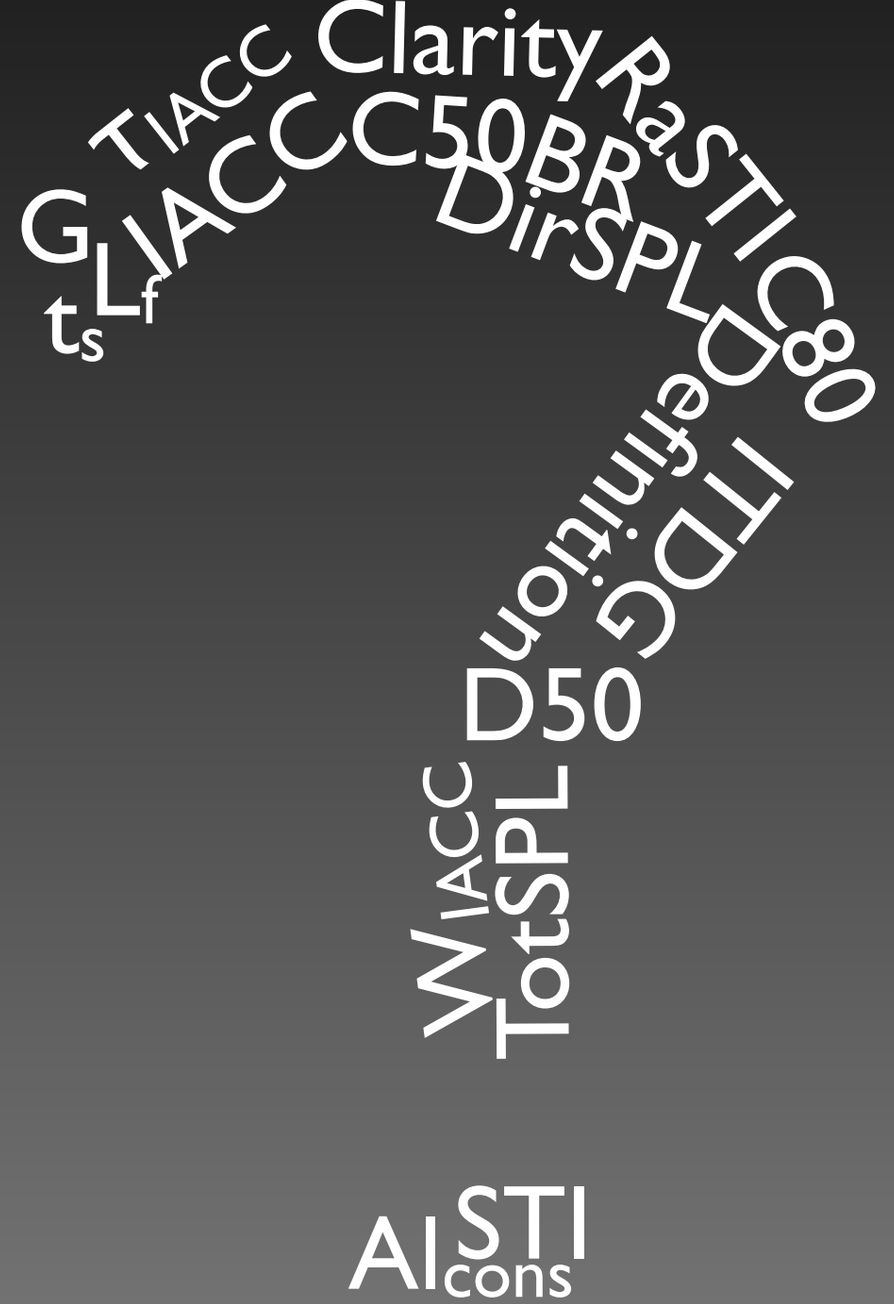
- L'EDT è un parametro più vicino dell'RT60 alla **percezione soggettiva della riverberazione** durante le esucuzioni musicali, alla **chiarezza** degli attacchi e ad altre sensazioni psicoacustiche soggettive.

- Le sale per la musica tendono ad avere una riverberazione uniforme con la frequenza mentre le sale d'opera presentano in genere più riverberazione alle frequenze gravi.

- Le sale con estese superfici di legno presentano la massina riverberazione alle frequenze medie.

- Alle frequenze acute (≥ 4KHz) RT diminuisce sempre a causa dell'assorbimento dell'aria.

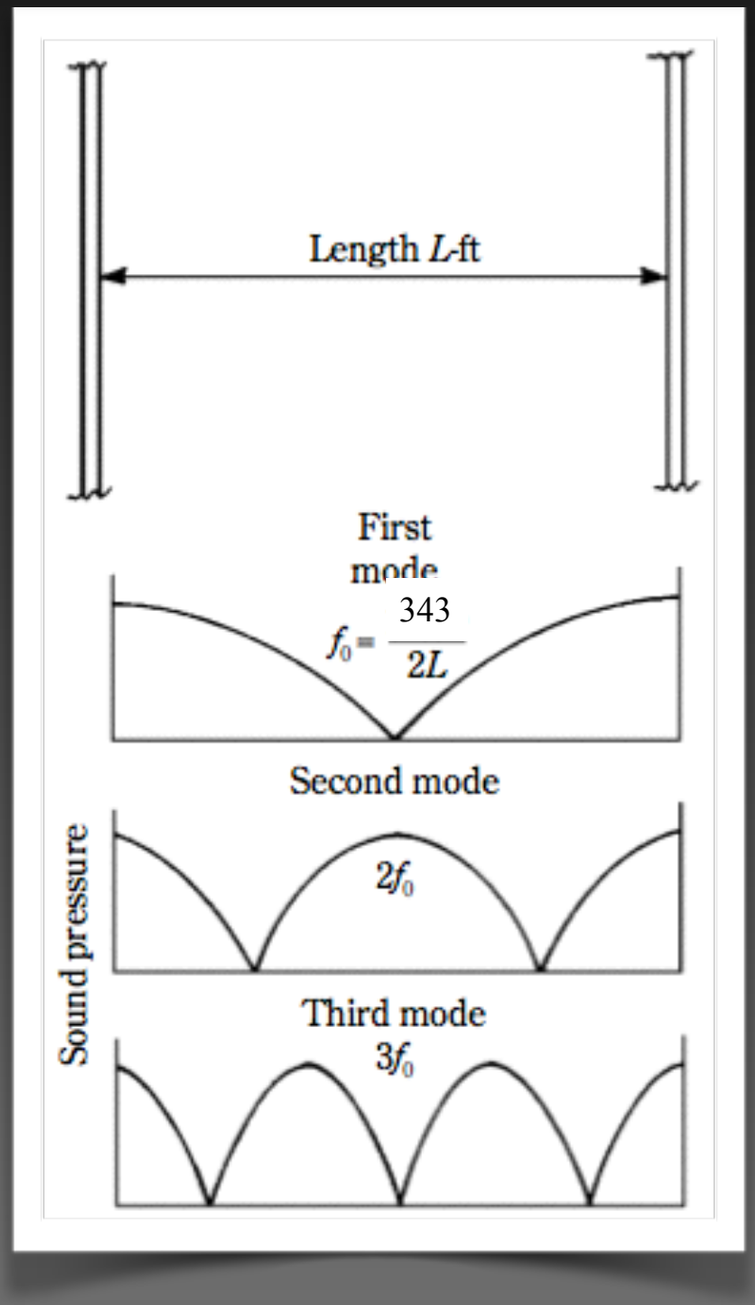
Altri parametri acustici



Altri parametri acustici

Attributo Soggettivo	Criterio di misura oggettiva	Parametri utilizzati
Chiarezza e trasparenza armonica	Rapporto tra energia vicina e lontana dal suono diretto	Criteri energetici (C80, C50, D50, t_s, G)
Riverberazione	Decadimento dell'energia sonora	Tempi di riveberazione (T30, T20, T10, EDT)
Spazialità del campo acustico	Energia Laterale, dissimilarità dei segnali alle due orecchie	Spazialità mono e binaurale(IACC, L_f, ASW, LEV, W_{IACC}, τ_{IACC})
Intimità	Distanza, ritardo della prima riflessione e livello sonoro	Tempo di ritardo iniziale (ITDG)
Loudness	Livello sonoro	Livelli sonori e rinforzo sonoro (G, DirSPL, TotSPL, D/R ratio)
Calore	Relazione tra riverberazione alle frequenze gravi e medie	Bass Ratio (BR)
Intelligibilità	Intelligibilità e comprensione del parlato	Parametri di intelligibilità (STI, RaSTI, ALcons)

Risonanze modali e onde stazionarie



Onde Stazionarie

Un' onda stazionaria è una perturbazione periodica di un mezzo materiale, le cui oscillazioni sono limitate nello spazio. In pratica non c'è propagazione nello spazio.

Le onde stazionare sono il risultato dell'interferenza tra onde progressive e regressive sinusoidali, aventi la stessa frequenza.

Una caratteristica delle onde stazionarie è che ad esse non è associato alcun trasporto di energia.

Onde Stazionarie

Un' onda stazionaria è una perturbazione periodica di un mezzo materiale, le cui oscillazioni sono limitate nello spazio. In pratica non c'è propagazione nello spazio.

Le onde stazionare sono il risultato dell'interferenza tra onde progressive e regressive sinusoidali, aventi la stessa frequenza.

Una caratteristica delle onde stazionarie è che ad esse non è associato alcun trasporto di energia.

Divisione spettro udibile

REGIONE X: non c'è rinforzo modale

REGIONE A: modi normali (onde acustiche - *wave acoustics*)

REGIONE B: fenomeni di diffrazione e diffusione (regione transizione)

REGIONE C: riflessione speculare (raggi acustici - *ray acoustics*)

| X | A | B | C |

20 Hz

$$f_{XA} = \frac{343}{2L}$$

modo più basso

$$f_{AB} = 1905 \cdot \sqrt{\frac{T}{V}}$$

T il tempo di riverberazione in secondi

V il volume del locale in metri cubi

$$f_{BC} = 4 f_{AB}$$

20 kHz

Dualismo onda-particella

Il dualismo onda-particella è il concetto che ogni particella elementare o quanto manifesta le proprietà delle particelle, ma anche delle onde. Esso affronta l'incapacità dei concetti classici di "particella" e di "onda" di descrivere pienamente il comportamento degli oggetti quantistici.

Questo potrebbe essere utilizzato anche in room acoustics, basta confrontare la lunghezza d'onda delle onde con le dimensioni della superficie o nella sala con cui interagiscono. Se sono circa la stessa dimensione sono come onde, se sono meno di 1/4, sono come particelle, o meglio, i raggi.

Esempio stanza

L 6.7 x W 5.5 x H 4.3 m

T = 0.5 s

Regione X : da 0 a 26 Hz

Regione A : da 26 a 107 Hz

Regione B : da 107 a 428 Hz

Regione C : da 428 a 20000 Hz.

$$f_{XA} = \frac{c}{2\lambda} = \frac{343\ [\mathrm{m/s}]}{6.7 \cdot 2\ [\mathrm{m}]} \simeq 26\mathrm{Hz}$$

$$f_{AB} = 1905 \cdot \sqrt{\frac{T}{V}} = 1905 \cdot \sqrt{\frac{0.5}{6.7 \times 5.5 \times 4.3}} \simeq 107\mathrm{Hz}$$

$$f_{BC} = 4 f_{AB} = 107 \times 4 = 428\mathrm{Hz}$$

...ricordarsi...

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{343}{\lambda}$$

Effetto della misura del locale

- riducendo il volume del locale, aumenta il limite inferiore della regione A e quindi si impoverisce la risposta dell'ambiente alle basse frequenze
- più il locale è piccolo, più è ampia la porzione dello spettro udibile dominata dalle risonanze modali
  - in tal caso le frequenze di risonanza risulteranno sempre più spaziate causando irregolarità nella risposta della stanza ed un aumento della colorazione del suono

Wave Acoustics

Ogni locale può essere modellizzato come un risonatore acustico complesso, avente un infinito numero di modi di vibrazione, ciascuno con una ben precisa frequenza di risonanza: ogniqualvolta una di queste frequenze viene prodotta all'interno del locale, ne risulterà una corrispondente onda stazionaria.

E` dimostrabile che l'aria racchiusa in una stanza rettangolare possiede un infinito numero di modi normali di vibrazione. Le frequenze alle quali occorrono sono date dall'equazione:

$$f = \frac{c}{2}\sqrt{\left(\frac{p}{L}\right)^2 + \left(\frac{q}{W}\right)^2 + \left(\frac{r}{H}\right)^2}$$

c	la velocità del suono, 344 m/s
L	la lunghezza del locale in metri
W	la larghezza del locale in metri
H	l'altezza del locale in metri
p,q,r	gli interi 0,1,2,3...n

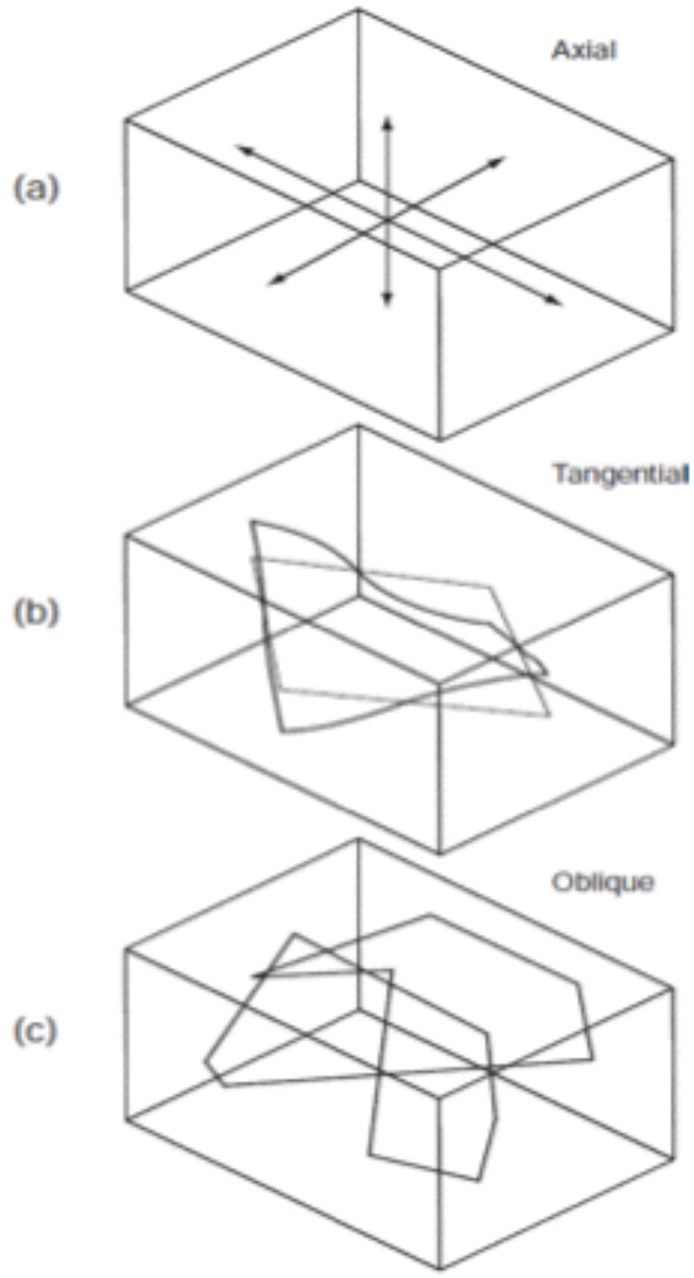
Analisi Modale

Si calcolano le frequenze modali basandoci sulle dimensioni delle pareti rigide del locale

Uso di un programma di calcolo che sostituisca valori crescenti agli indici p,q,r, in sequenza

ordini i risultati dalla frequenza più piccola alla più grande

numeri i modi e ne descriva il tipo contando il numero di zeri presenti negli indici p,q,r



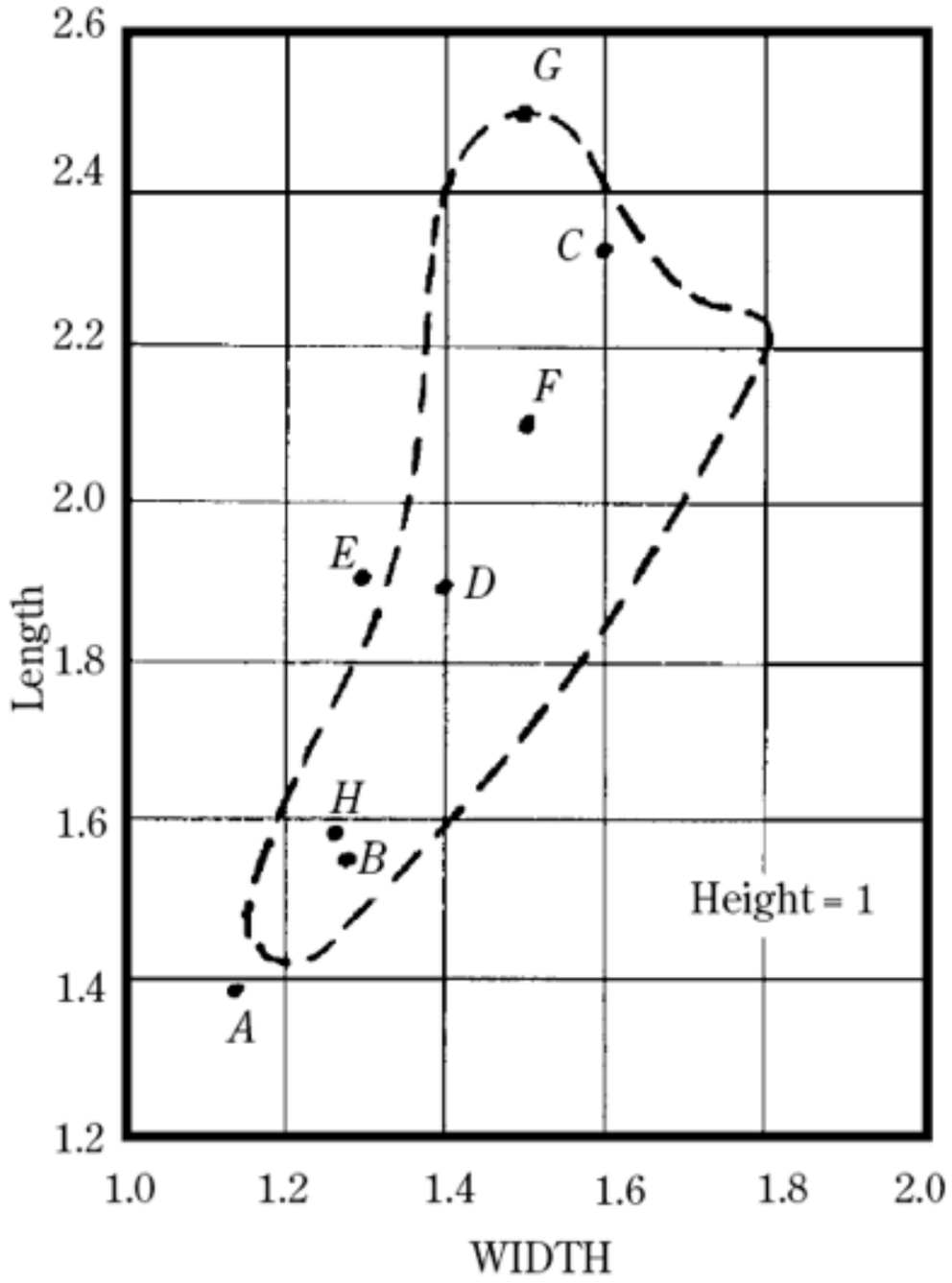
```
-------------------------------------------------
Calcolo delle Risonanze Modali in stanze rettangolari
-------------------------------------------------

DIMENSIONI DEL LOCALE IN METRI
Lunghezza  : 9.1
Larghezza  : 7.6
Altezza    : 5.9
==================================> Volume      408.04 [m^3]
                                    Proporzioni 1:1.29:1.54
Indici Modali da valutare: 0..4
==================================> Modi  : 125
```

Modo	Frequenza	Angoli xyz		Rifl.	p	q	r	Tipo
1	18.901	0.0	90.0	90.0	1	0	0	A
2	22.632	90.0	0.0	90.0	0	1	0	A
3	29.153	90.0	90.0	0.0	0	0	1	A
4	29.486	50.1	39.9	90.0	1	1	0	T
5	34.744	57.0	90.0	33.0	1	0	1	T
6	36.906	90.0	52.2	37.8	0	1	1	T
7	37.802	0.0	90.0	90.0	2	0	0	A
8	41.465	62.9	56.9	45.3	1	1	1	O
9	44.059	30.9	59.1	90.0	2	1	0	T
10	45.263	90.0	0.0	90.0	0	2	0	A
11	47.738	37.6	90.0	52.4	2	0	1	T
12	49.051	67.3	22.7	90.0	1	2	0	T
13	52.831	44.3	64.6	56.5	2	1	1	O
14	53.839	90.0	32.8	57.2	0	2	1	T
15	56.703	0.0	90.0	90.0	3	0	0	A
16	57.060	70.7	37.5	59.3	1	2	1	O
17	58.305	90.0	90.0	0.0	0	0	2	A
18	58.973	50.1	39.9	90.0	2	2	0	T
19	61.053	21.8	68.2	90.0	3	1	0	T
20	61.292	72.0	90.0	18.0	1	0	2	T
21	62.543	90.0	68.8	21.2	0	1	2	T
22	63.758	27.2	90.0	62.8	3	0	1	T
23	65.337	73.2	69.7	26.8	1	1	2	O
24	65.785	54.9	46.5	63.7	2	2	1	O
25	67.656	33.1	70.5	64.5	3	1	1	O
26	67.895	90.0	0.0	90.0	0	3	0	A
27	69.487	57.0	90.0	33.0	2	0	2	T
28	70.477	74.4	15.6	90.0	1	3	0	T
29	72.554	38.6	51.4	90.0	3	2	0	T
30	73.080	58.9	72.0	37.1	2	1	2	O
31	73.812	90.0	52.2	37.8	0	2	2	T
32	73.889	90.0	23.2	66.8	0	3	1	T
33	75.604	0.0	90.0	90.0	4	0	0	A
34	76.194	75.6	53.6	40.1	1	2	2	O
35	76.268	75.7	27.1	67.5	1	3	1	O
36	77.709	60.9	29.1	90.0	2	3	0	T
37	78.191	43.5	54.6	68.1	3	2	1	O
38	78.919	16.7	73.3	90.0	4	1	0	T
39	81.030	21.1	90.0	68.9	4	0	1	T
40	81.331	45.8	90.0	44.2	3	0	2	T
41	82.929	62.9	56.9	45.3	2	2	2	O
42	82.997	62.9	35.1	69.4	2	3	1	O
43	84.131	26.0	74.4	69.7	4	1	1	O
44	84.421	47.8	74.5	46.3	3	1	2	O
45	87.458	90.0	90.0	0.0	0	0	3	A
46	88.118	30.9	59.1	90.0	4	2	0	T
47	88.459	50.1	39.9	90.0	3	3	0	T
48	89.477	77.8	90.0	12.2	1	0	3	T
49	89.494	90.0	40.7	49.3	0	3	2	T
50	90.338	90.0	75.5	14.5	0	1	3	T
51	90.526	90.0	0.0	90.0	0	4	0	A
52	91.468	78.1	42.1	50.4	1	3	2	O
53	92.295	78.2	75.8	18.6	1	1	3	O
54	92.478	78.2	11.8	90.0	1	4	0	T
55	92.815	35.5	60.8	71.7	4	2	1	O
56	93.078	52.5	60.9	51.2	3	2	2	O
57	93.139	52.5	43.2	71.8	3	3	1	O
58	95.105	90.0	17.9	72.1	0	4	1	T
59	95.278	66.6	90.0	23.4	2	0	3	T
60	95.475	37.6	90.0	52.4	4	0	2	T
61	96.965	78.8	21.0	72.5	1	4	1	O
62	97.150	67.1	45.7	53.1	2	3	2	O
63	97.929	67.3	76.6	26.7	2	1	3	O
64	98.102	67.3	22.7	90.0	2	4	0	T
65	98.121	39.6	76.7	53.5	4	1	2	O
66	98.476	90.0	62.6	27.4	0	2	3	T
67	100.274	79.1	63.2	29.3	1	2	3	O
68	101.616	41.9	48.1	90.0	4	3	0	T
69	102.342	68.3	27.8	73.4	2	4	1	O
70	104.231	57.0	90.0	33.0	3	0	3	T
71	105.483	69.0	64.6	34.0	2	2	3	O
72	105.661	44.3	64.6	56.5	4	2	2	O

Proporzioni per locali rettangolari

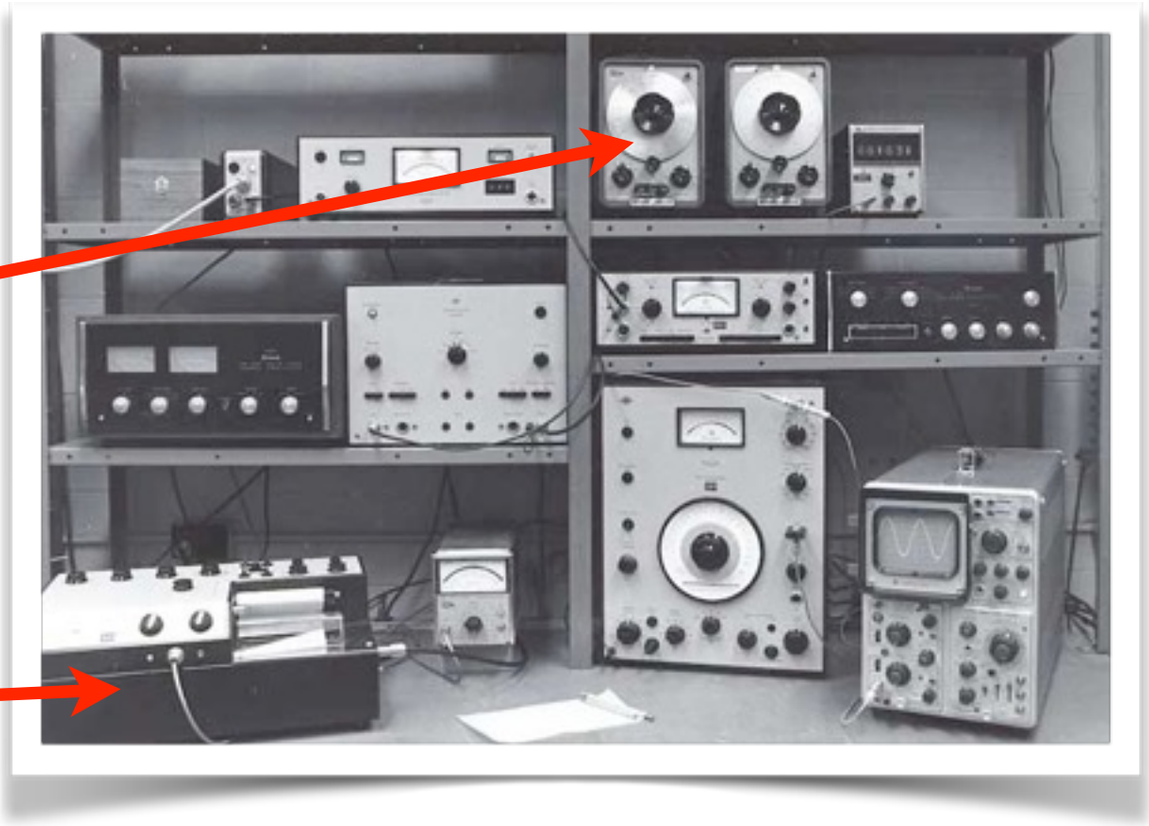
	Altezza	Larghezza	Lunghezza
A	1.00	1.14	1.39
B	1.00	1.29	1.54
C	1.00	1.60	2.33

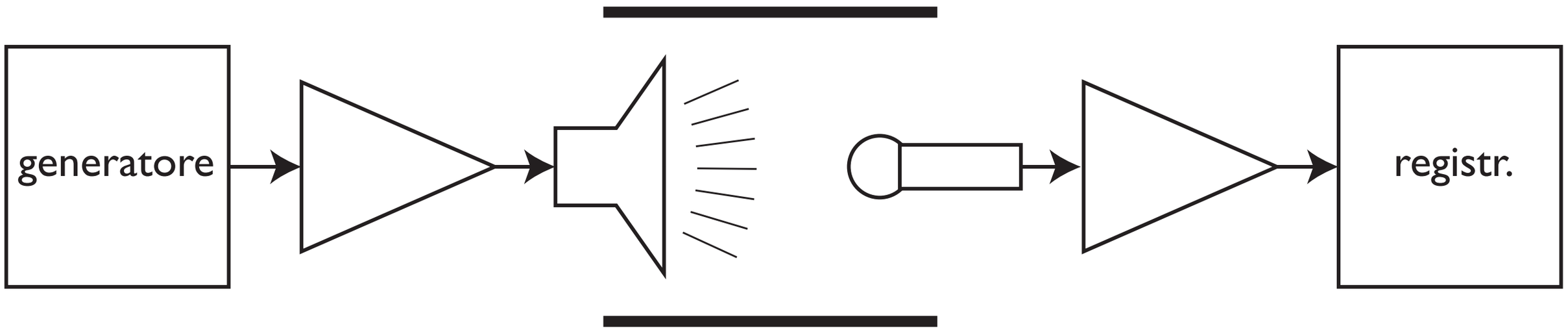
Area di Bolt



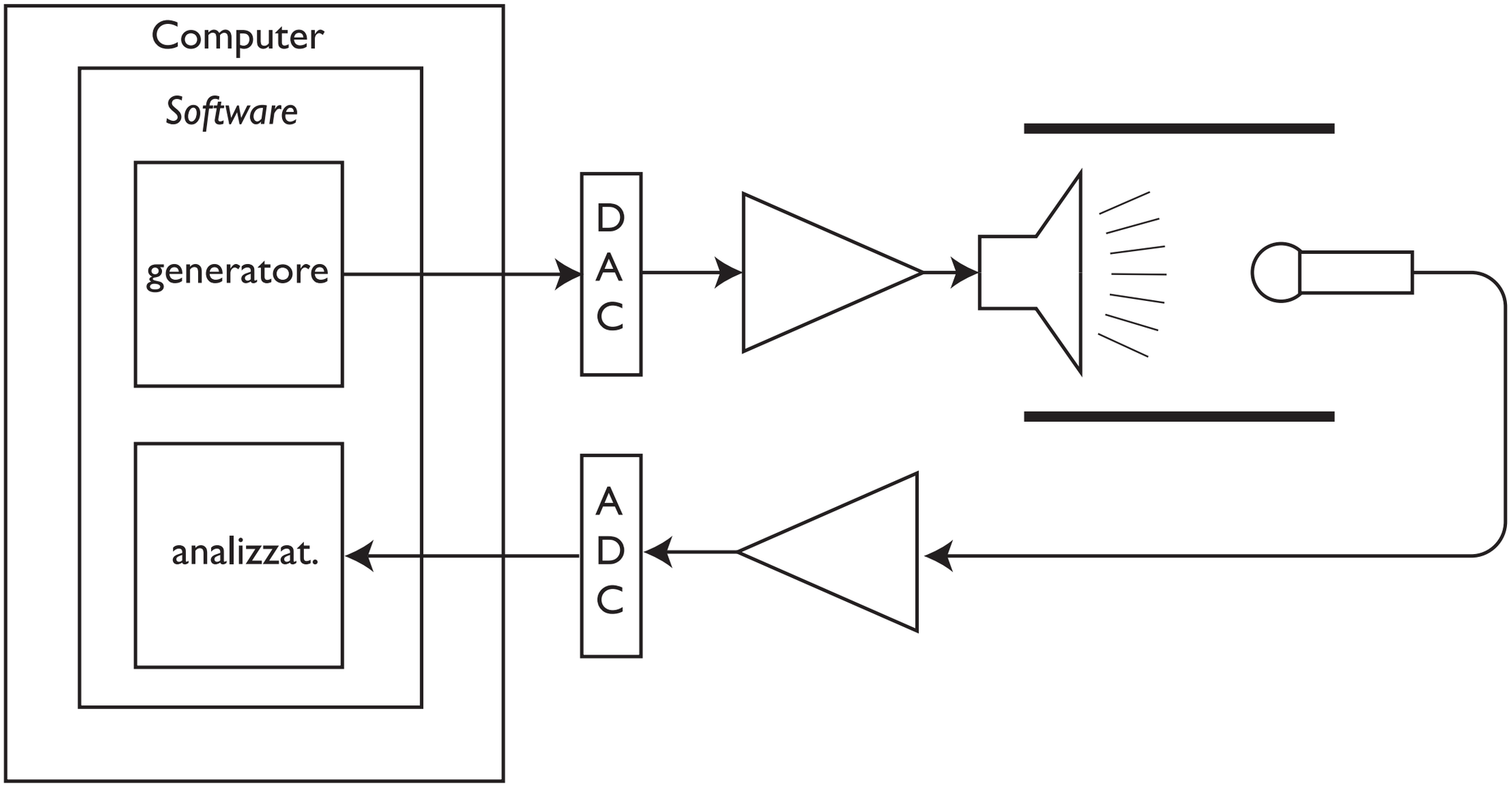
Strumentazione

Prima dell'avvento della tecnologia digitale si usavano generatori di segnali analogici e le misure erano visualizzate su registratori a carta





Attualmente i segnali sono generati e analizzati nel dominio digitale, da opportuni *software* installati sul computer che controlla la misura.



Decadimento del suono stazionario interrotto

Si misura il decadimento sonoro dopo l'interruzione di un suono continuo prolungato.

I segnali di test vengono emessi tipicamente a 90 dB sonori e spesso il rumore di fondo raggiunge livelli di circa 20 ÷ 30 dB quindi risulta difficile stimare un decadimento di 60 dB per misurare l'RT60.

NORME ISO: RT60 è definito come due volte il tempo misurato in un decadimento da -5 a -35 dB sotto il valore iniziale del livello sonoro.

dato che le curve di decadimento spesso presentano doppie pendenze o curvature non trascurabili, questa definizione operativa non corrisponde con quella di Sabine.

Misura dell'RT60 a diverse frequenze

due metodi di misura:

1. **zona per zona**, usando segnali con contributi solo su una fascia ristretta di frequenze

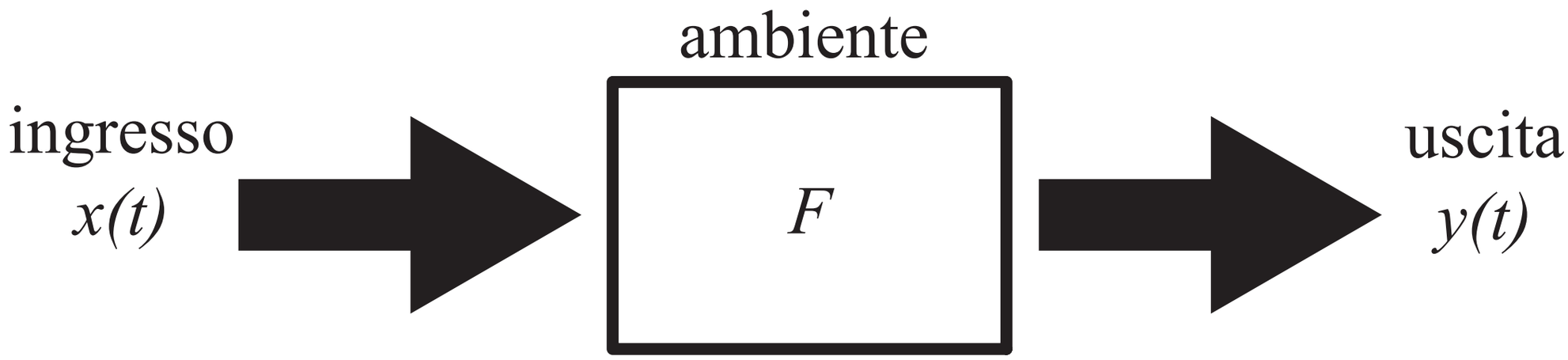
2. in un'**unica operazione**, usando segnali a larga banda ed analizzando spettralmente il segnale acquisito

il secondo metodo è molto più veloce ma la potenza viene dispersa su tutte le frequenze ed il rapporto segnale rumore si riduce

Tecniche impulsive

Si possono calcolare l'RT60 e tutti gli altri parametri se si è determinata direttamente o indirettamente la risposta dell'ambiente a un suono impulsivo.

Schematizzazione ambiente acustico come "scatola nera" la cui risposta è lineare e invariante nel tempo:



PRO dell'MLS

Si può calcolare la correlazione circolare con la trasformata veloce di Hadamard (FHT).

MLS è un segnale deterministico: ripetendo la misura ed effettuando una serie di medie del segnale in uscita si fa aumentare il rapporto segnale-rumore di 3 dB ogni volta che si raddoppia il numero di medie.

CONTRO dell'MLS

Dipendenza dalla non linearità del sistema. Se il sistema non è perfettamente lineare appaiono "artefatti" sistematici che non possono essere diminuiti neanche mediando più misure.

Se le sequenze sono più lunghe si aumenta il rapporto s/r, ma se sono troppo lunghe gli effetti dovuti ad una non perfetta tempo-invarianza diventano predominanti.

PRO del *sine-sweep*

Il segnale inverso dello sweep è proprio esso stesso invertito sull'asse dei tempi. Quindi con il segnale invertito e il segnale di uscita sarà possibile calcolare l'IR con un'operazione di deconvoluzione.

La risposta ad un singolo *sweep* non ripetuto è pressoché uguale a quella che si ha con una ripetizione periodica: non è necessario emettere il segnale di test 2 volte. Si dimezzano i tempi di misura.

Ottimo rapporto s/r (circa 20 dB meglio dell'MLS).

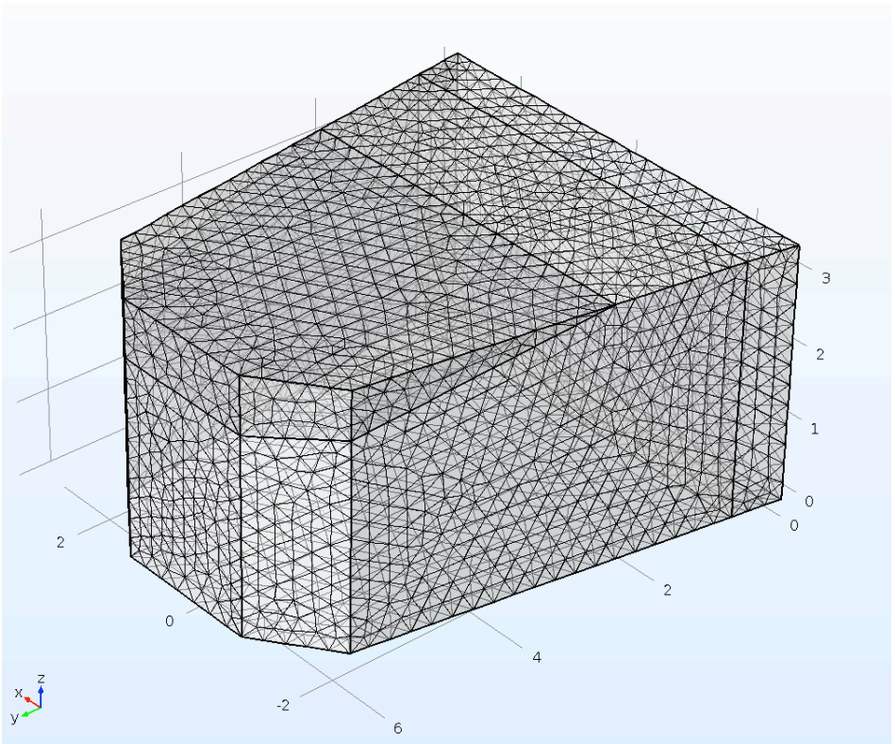
Il *sine-sweep* è molto meno soggetto ad artefatti causati dalla non perfetta linearità e tempo-invarianza del sistema

CONTRO del *sine-sweep*

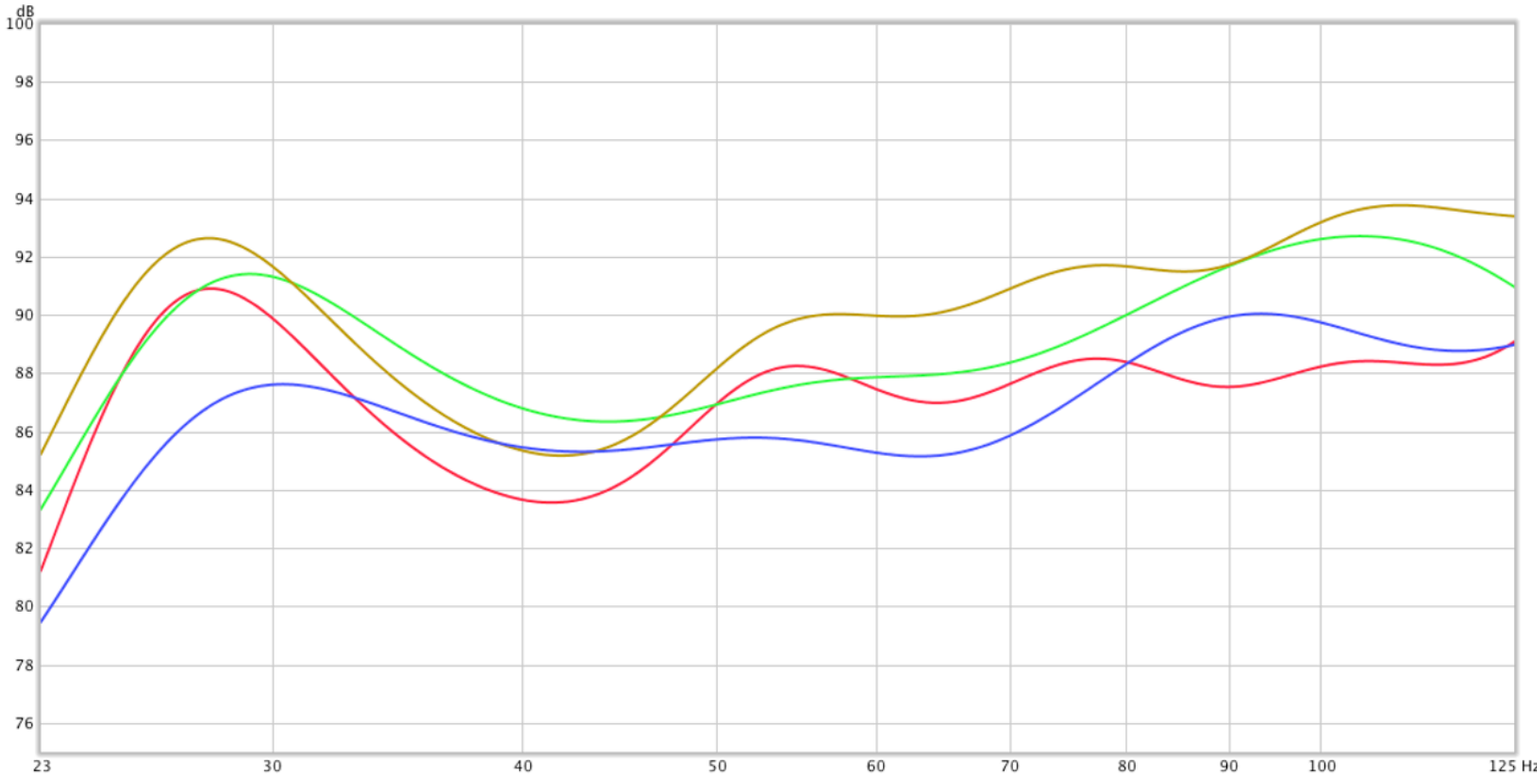
maggiore complessità dell'algoritmo di analisi, richiede maggiore potenza di calcolo rispetto alle altre tecniche.

FEM Simulation

Confronto tra una sala rettangolare dalle dimensioni “ottimali” Louden (1/1.4/1.9, ossia H=3.4m, W=4.76m, L=6.46m), con una di dimensioni identiche dove però i lati sono inclinati in modo simmetrico tra loro.



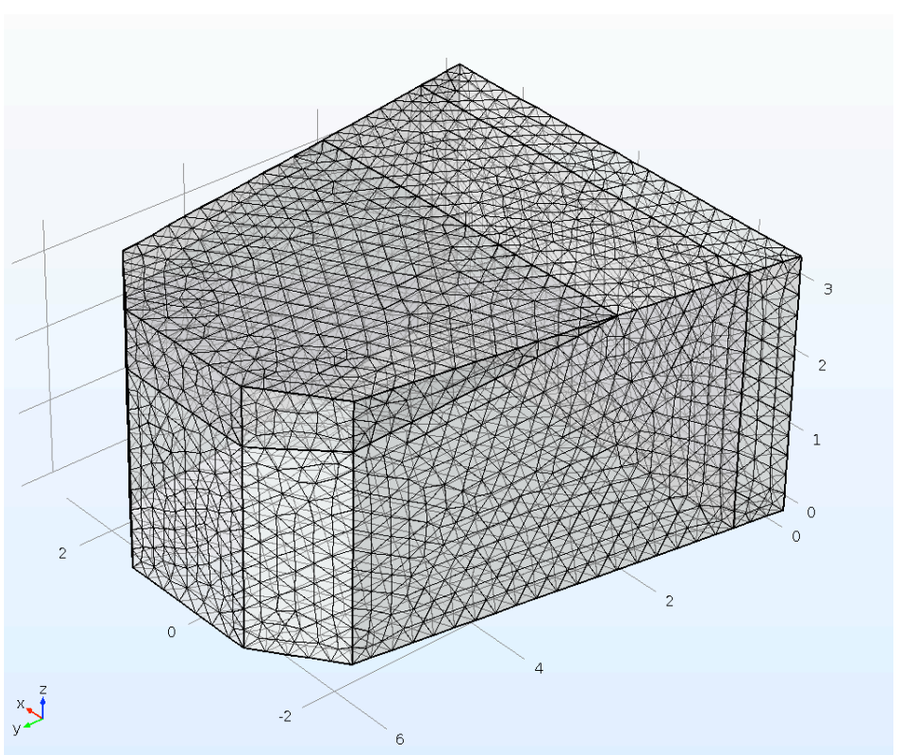
Mesh per COMSOL



FR of a Rectangular (Louden) room untreated (red) and treated (blue) VS. non-rectangular (Louden “slanted”) untreated (brown) and treated (green).

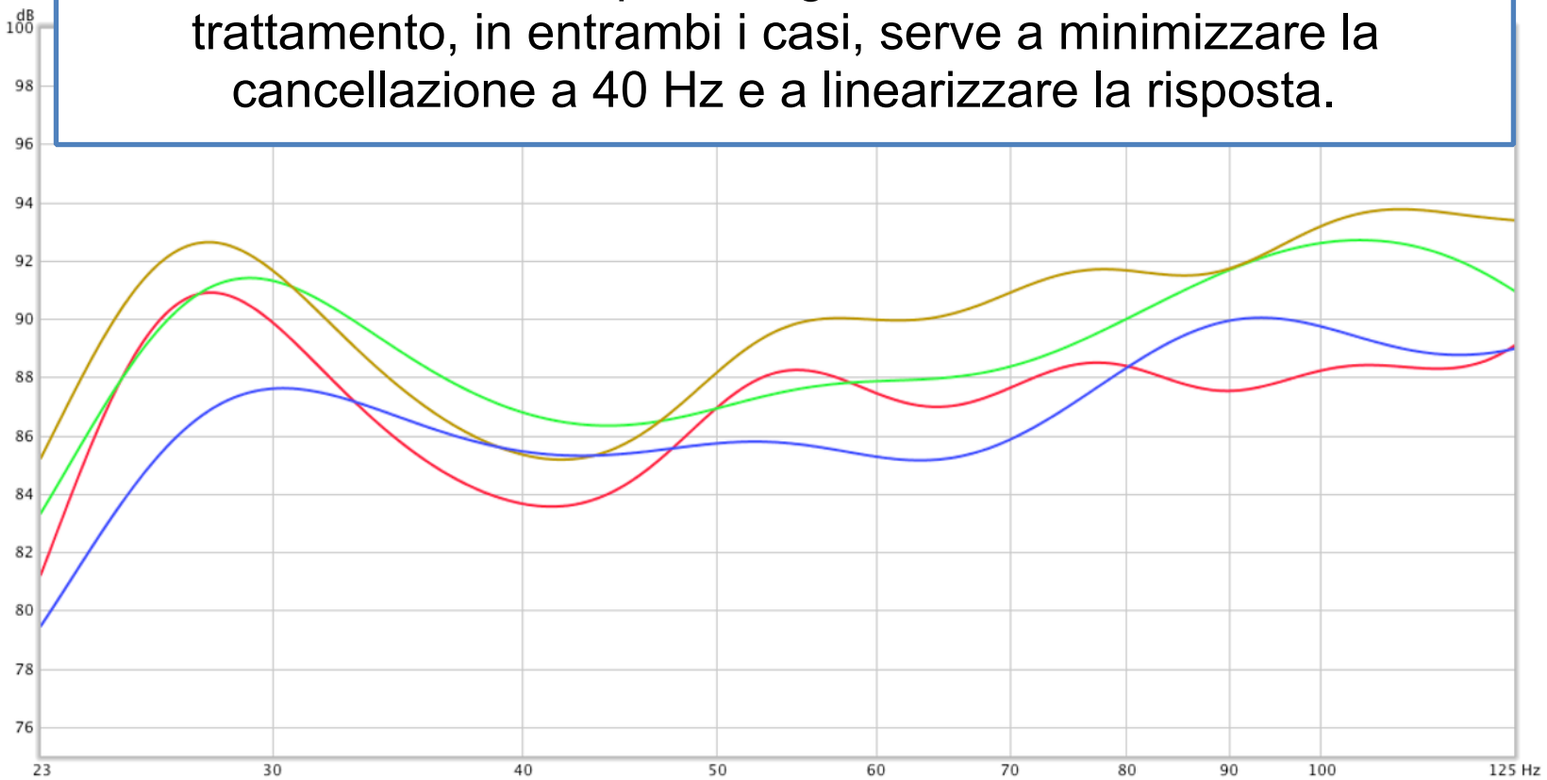
FEM Simulation

Confronto tra una sala rettangolare dalle dimensioni “ottimali” Louden (1/1.4/1.9, ossia H=3.4m, W=4.76m, L=6.46m), con una di dimensioni identiche dove però i lati sono inclinati in modo simmetrico tra loro.



Mesh per COMSOL

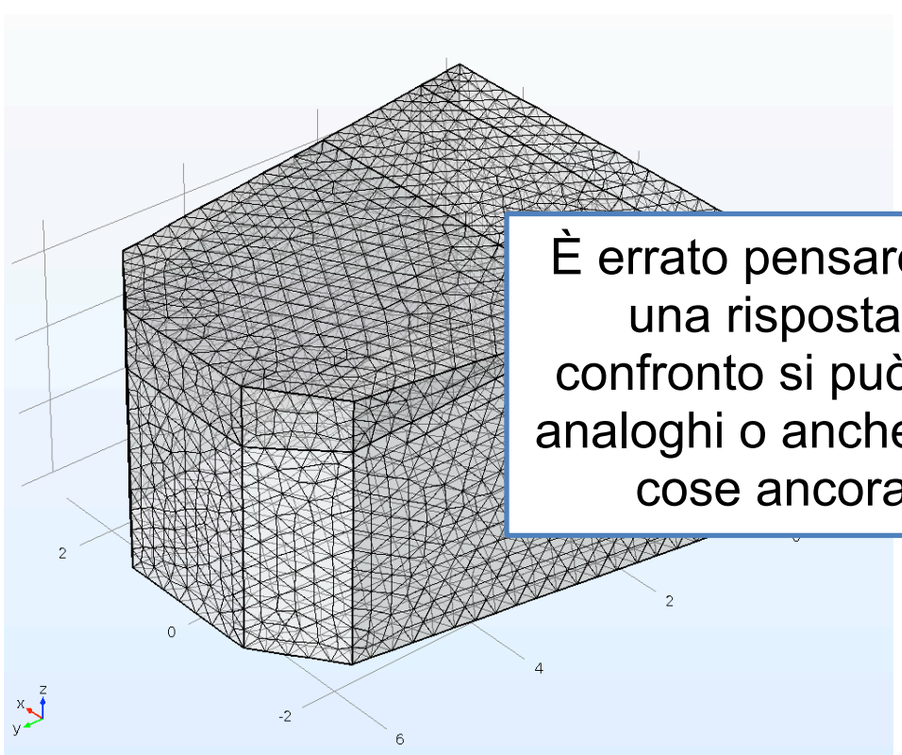
la stanza “slanted” ha più energia sonora alle basse e che il trattamento, in entrambi i casi, serve a minimizzare la cancellazione a 40 Hz e a linearizzare la risposta.



FR of a Rectangular (Louden) room untreated (red) and treated (blue) VS. non-rectangular (Louden “slanted”) untreated (brown) and treated (green).

FEM Simulation

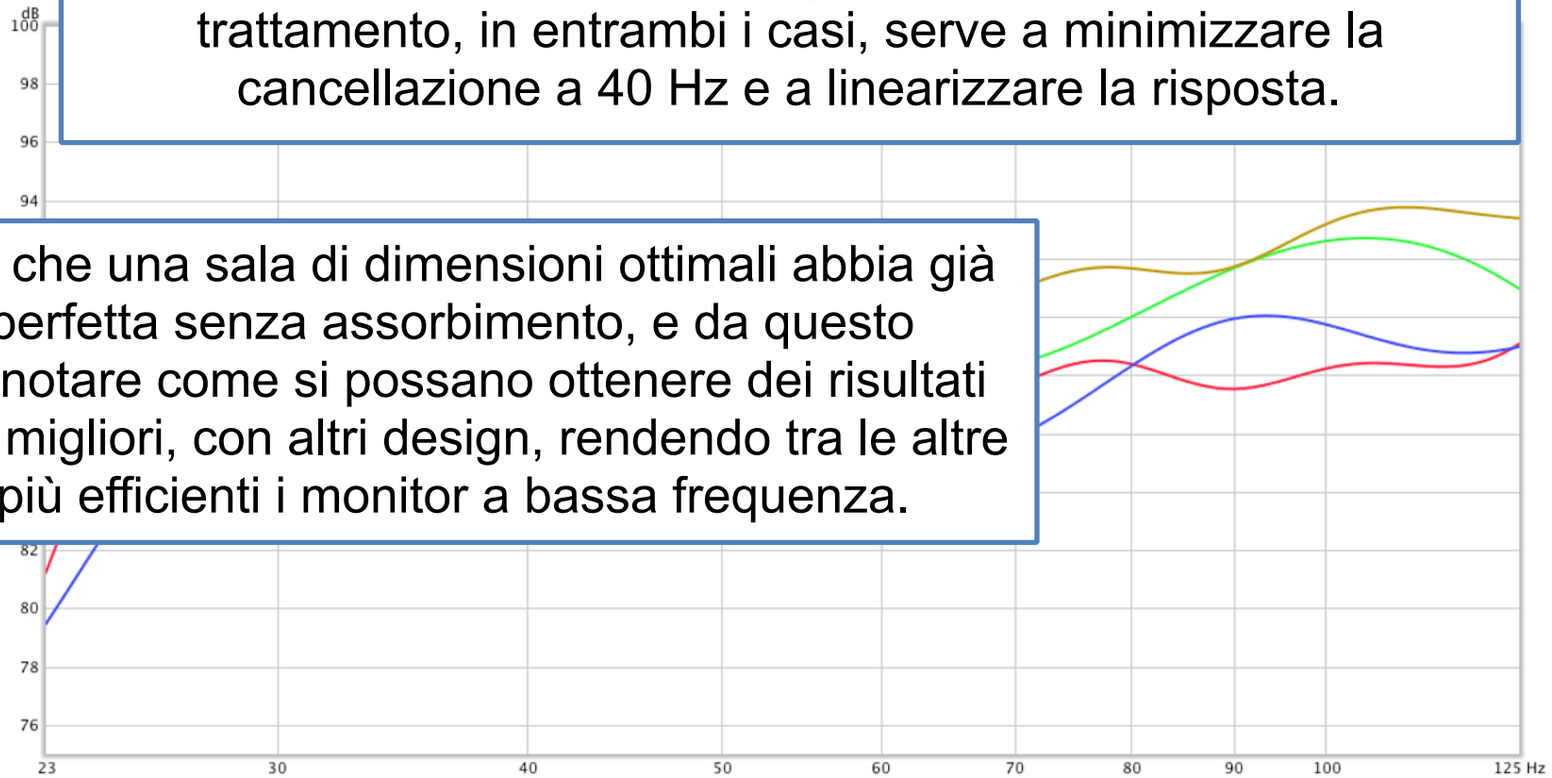
Confronto tra una sala rettangolare dalle dimensioni “ottimali” Louden (1/1.4/1.9, ossia H=3.4m, W=4.76m, L=6.46m), con una di dimensioni identiche dove però i lati sono inclinati in modo simmetrico tra loro.



Mesh per COMSOL

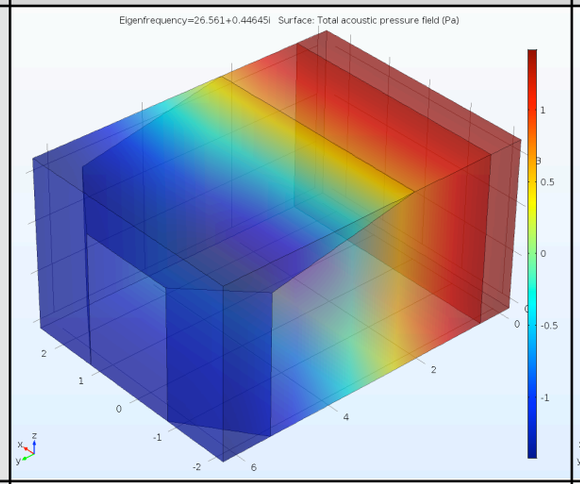
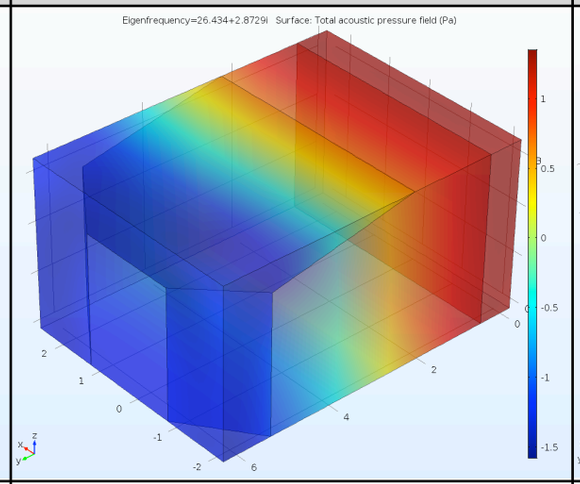
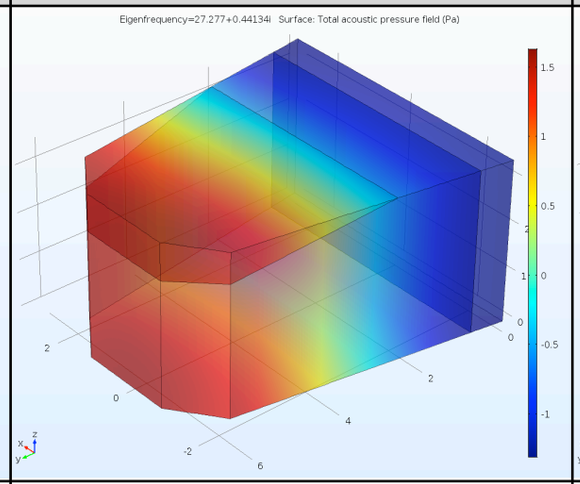
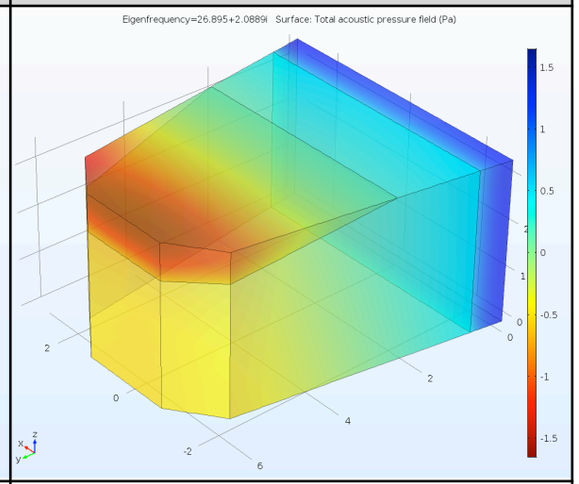
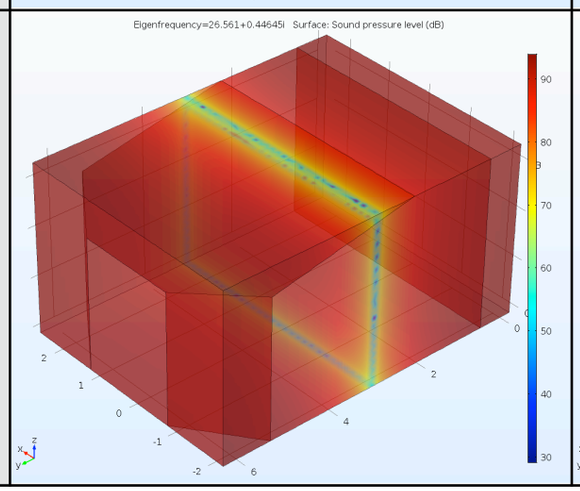
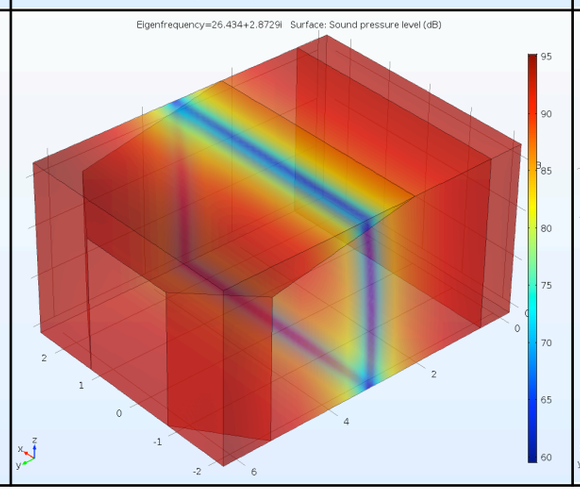
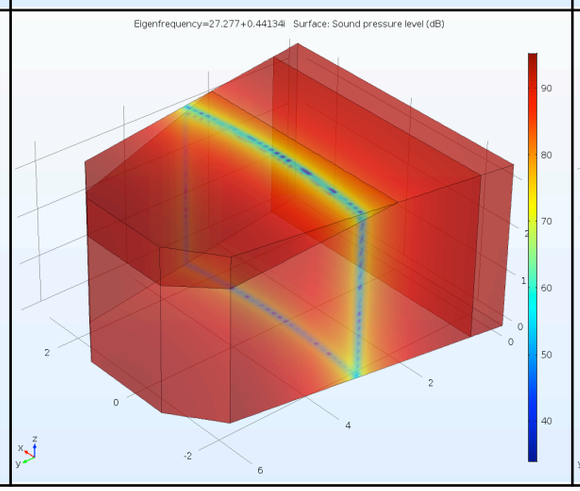
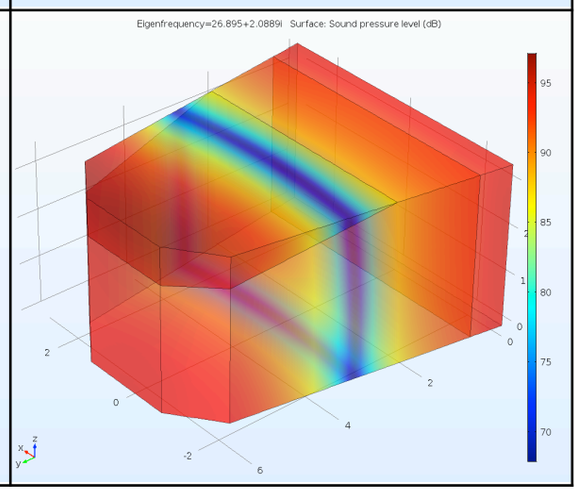
la stanza “slanted” ha più energia sonora alle basse e che il trattamento, in entrambi i casi, serve a minimizzare la cancellazione a 40 Hz e a linearizzare la risposta.

È errato pensare che una sala di dimensioni ottimali abbia già una risposta perfetta senza assorbimento, e da questo confronto si può notare come si possano ottenere dei risultati analoghi o anche migliori, con altri design, rendendo tra le altre cose ancora più efficienti i monitor a bassa frequenza.



FR of a Rectangular (Louden) room untreated (red) and treated (blue) VS. non-rectangular (Louden “slanted”) untreated (brown) and treated (green).

FEM Simulation

1L mode	Louden		Louden “slanted”	
Mode	f = 26.6 Hz	f = 26.4 Hz	f = 27.3 Hz	f = 26.9 Hz
MT60	MT60 = 2.44 s	MT60 = 0.38 s	MT60 = 2.48 s	MT60 = 0.52 s
Acoustic Pressure				
SPL				

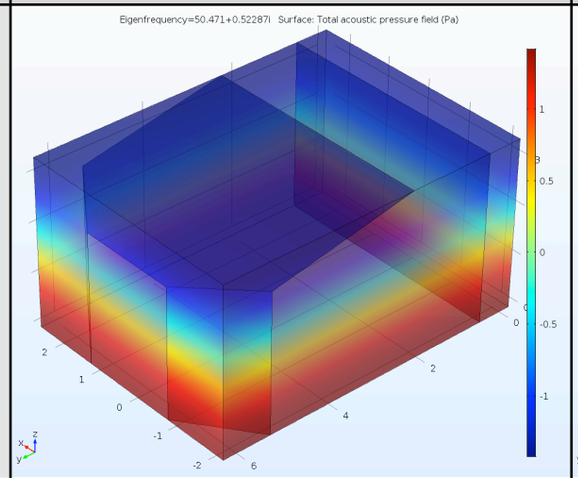
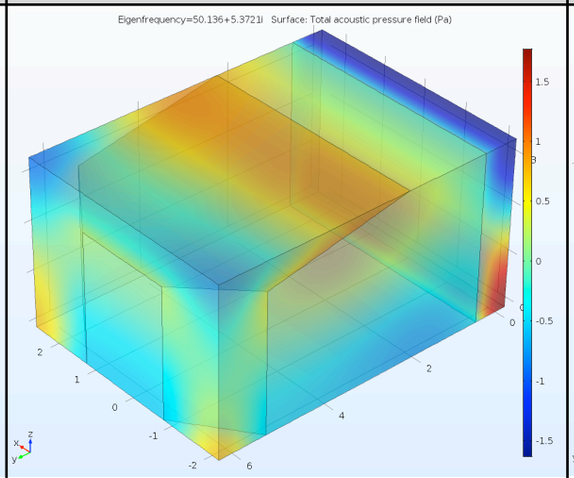
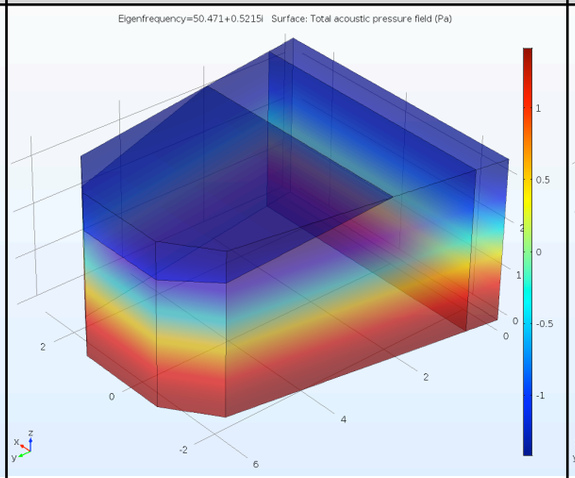
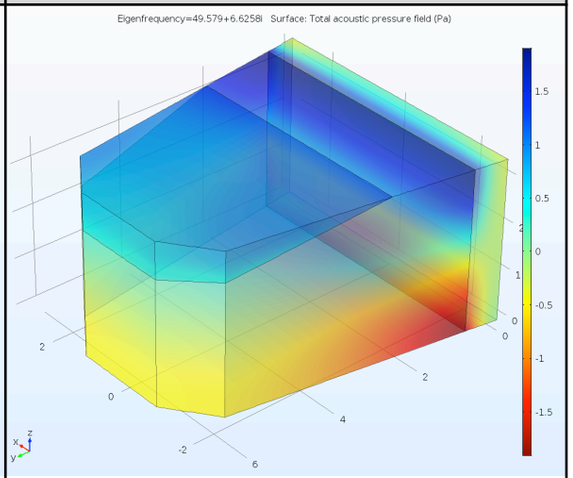
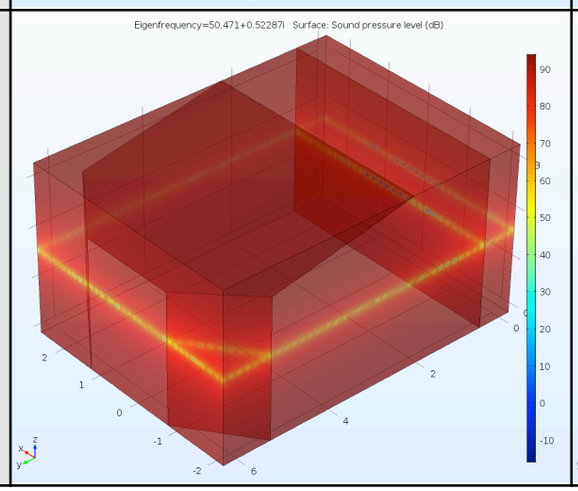
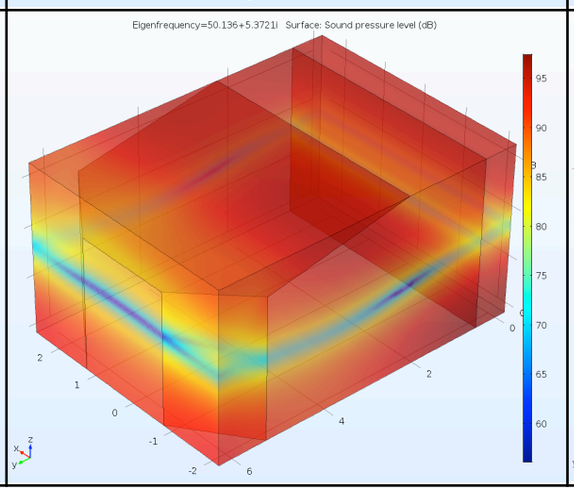
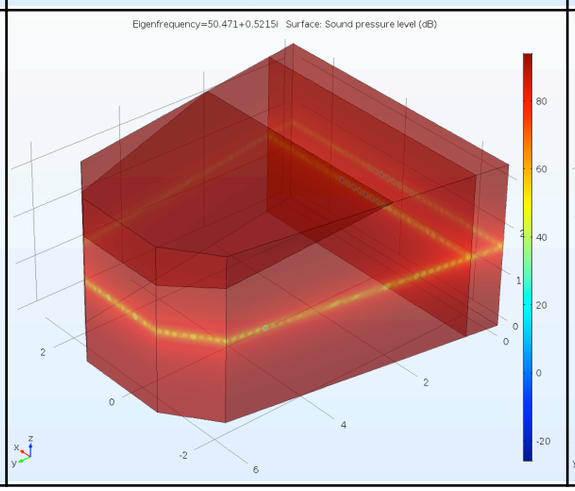
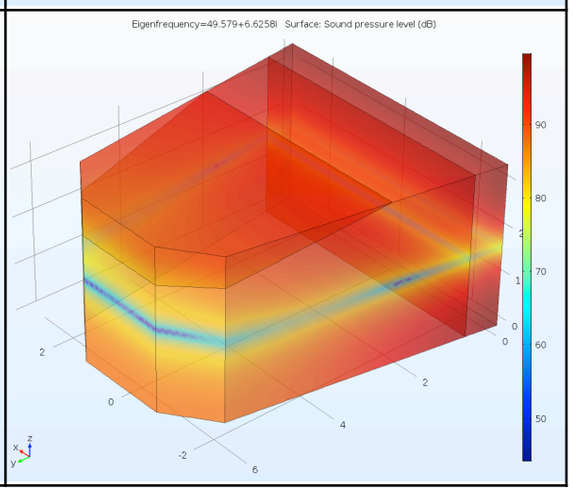
FEM Simulation

Si nota:

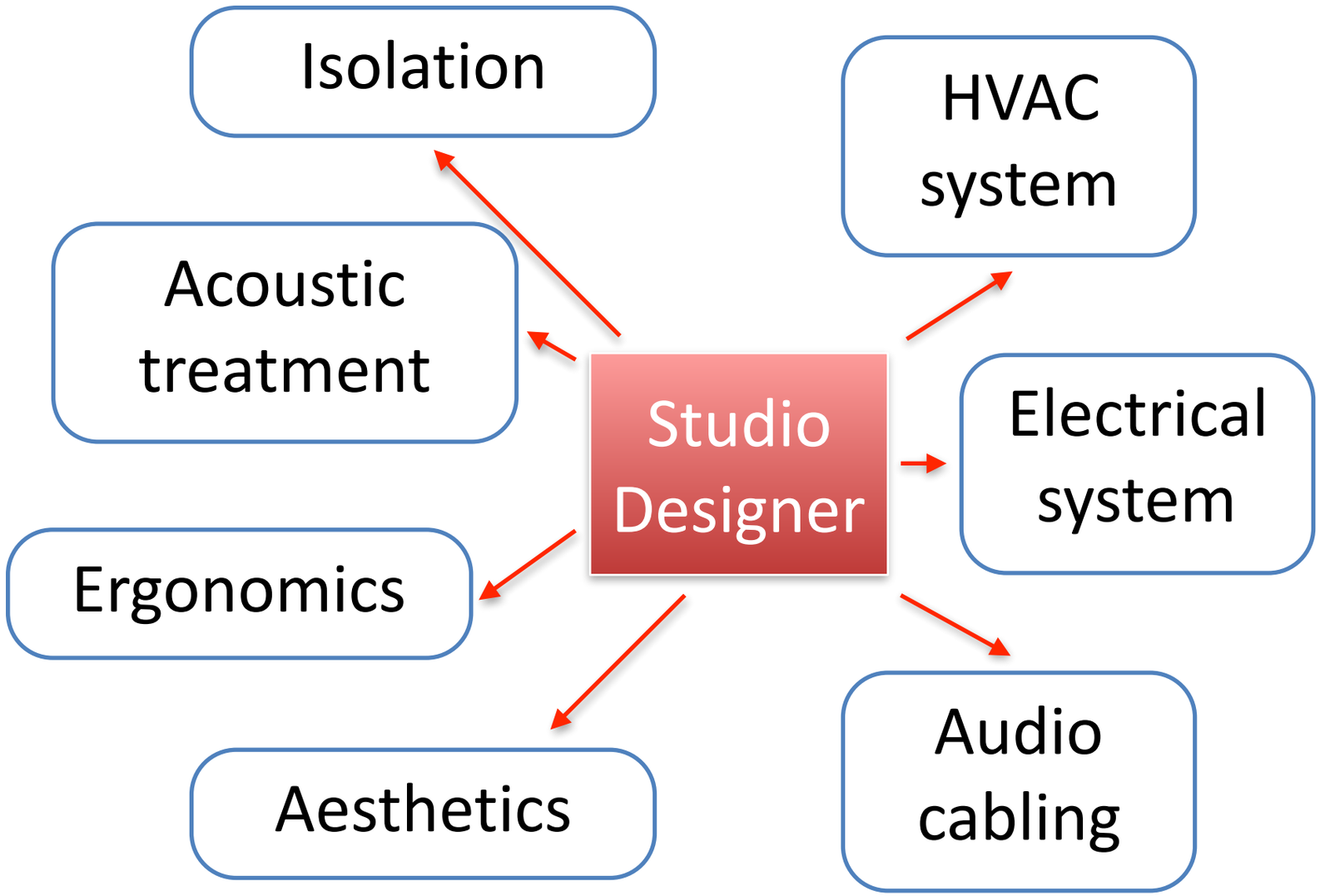
- la diminuzione del tempo di decadimento modale nel caso trattato
- lo shift in frequenza della frequenza di risonanza
- la distribuzione della pressione sonora in modalità più omogenea nella stanza nel caso trattato
  (e questo è utile ai fini della progettazione dove si devono proprio minimizzare gli effetti delle onde stazionarie diminuendo la discrepanza tra i livelli sonori che si percepiscono nei punti di massimo e minimo della stanza)

Questi sono alcuni dei pochi modi che si riescono a riconoscere a stanza trattata, infatti sopra i 50 Hz, anche con questo semplice trattamento acustico, i modi sono completamente degenerati e abbattuti, e quindi la pressione sonora è distribuita in modo pressoché omogeneo in tutto lo spazio.

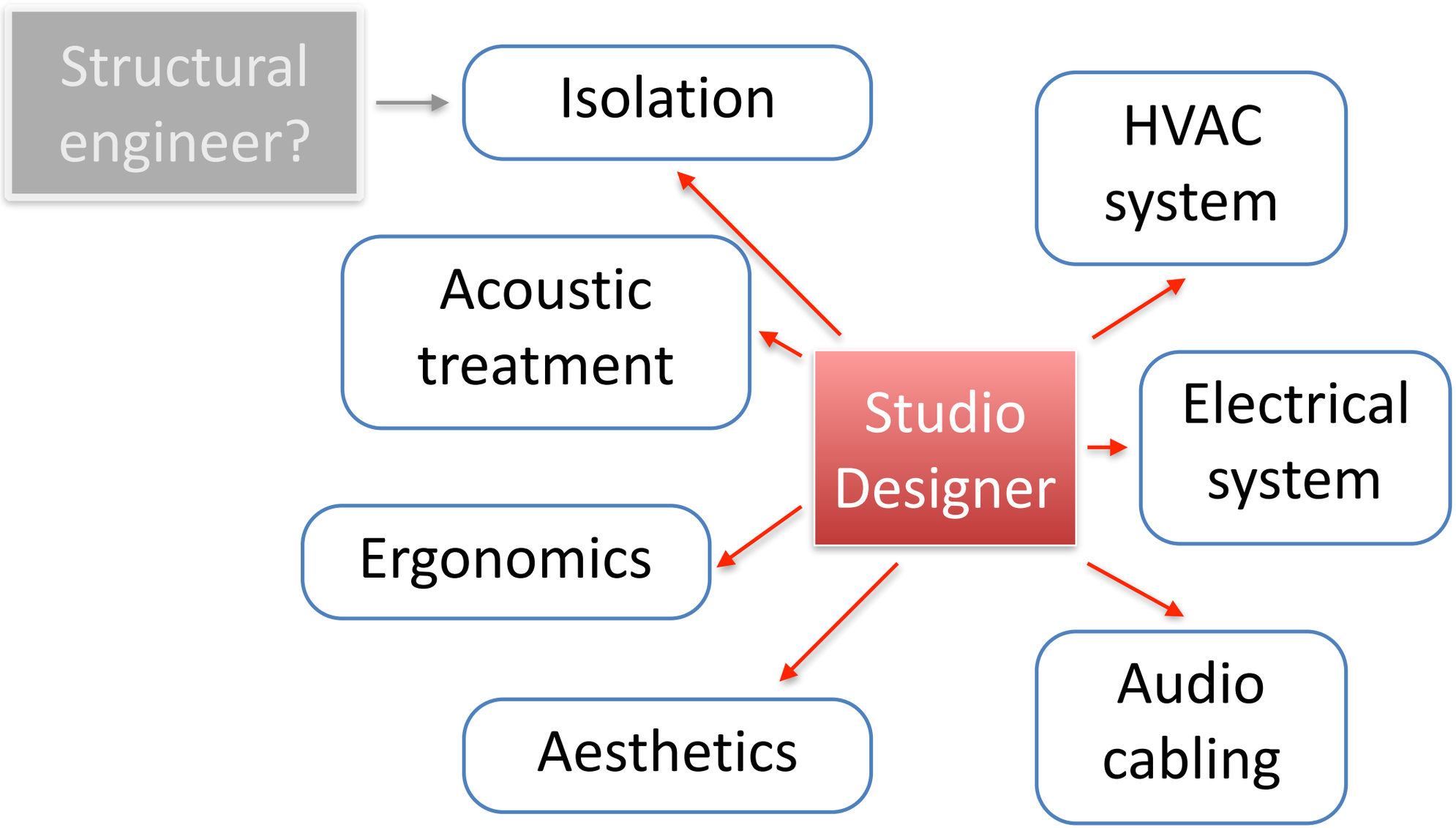
FEM Simulation

1H mode	Louden		Louden “slanted”	
Mode	f = 50.5 Hz	f = 50.1 Hz	f = 50.5 Hz	f = 49.6 Hz
MT60	MT60 = 2.09 s	MT60 = 0.20 s	MT60 = 2.10 s	MT60 = 0.16 s
Acoustic Pressure				
SPL				

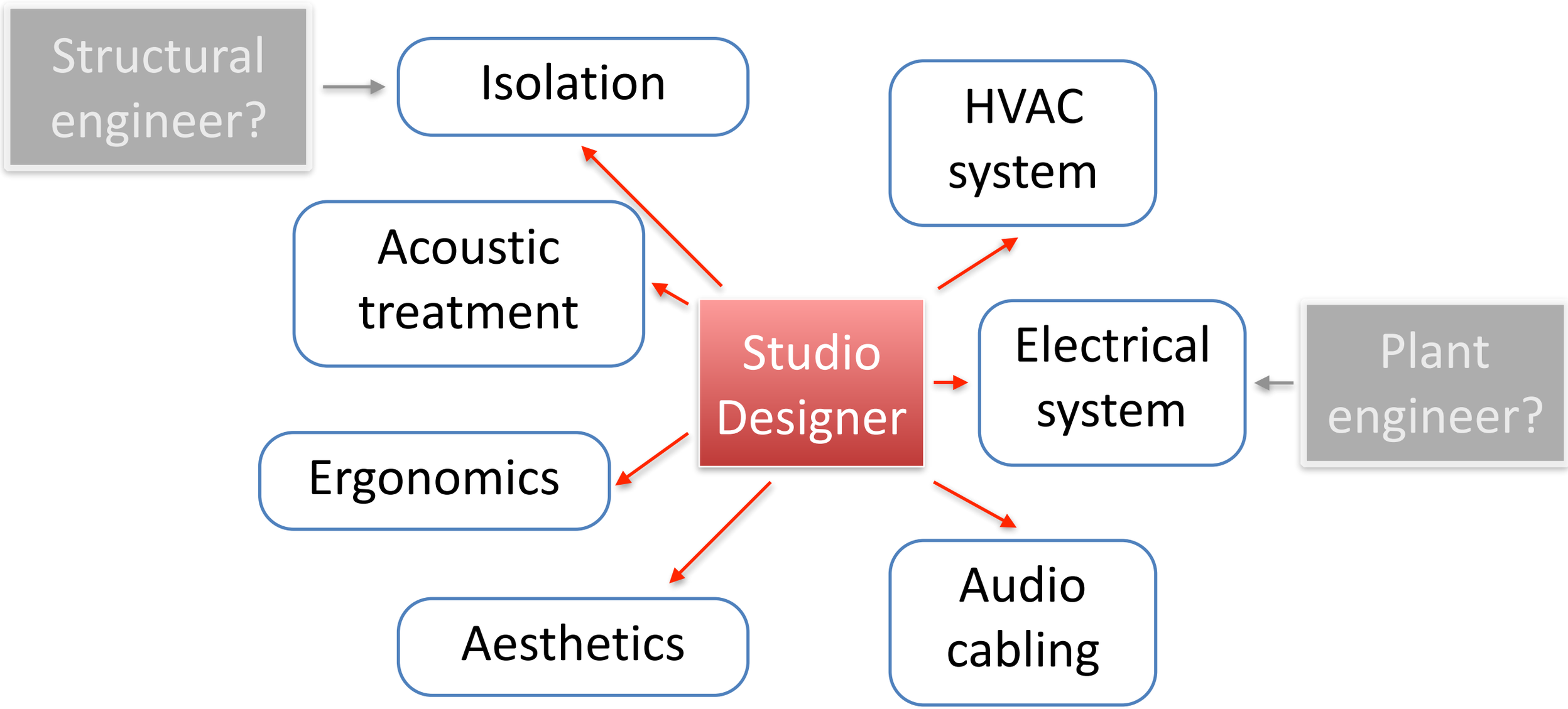
Audio facility design



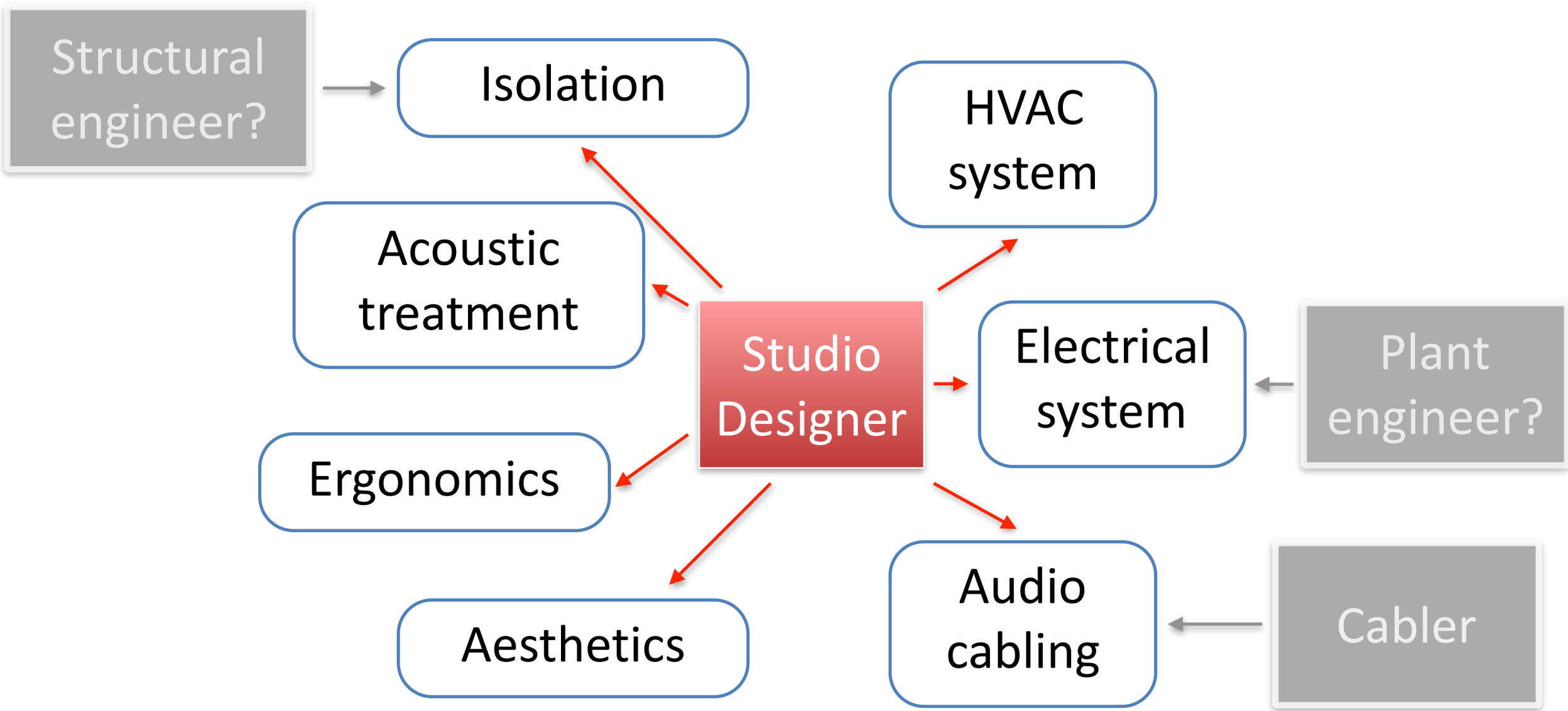
Audio facility design



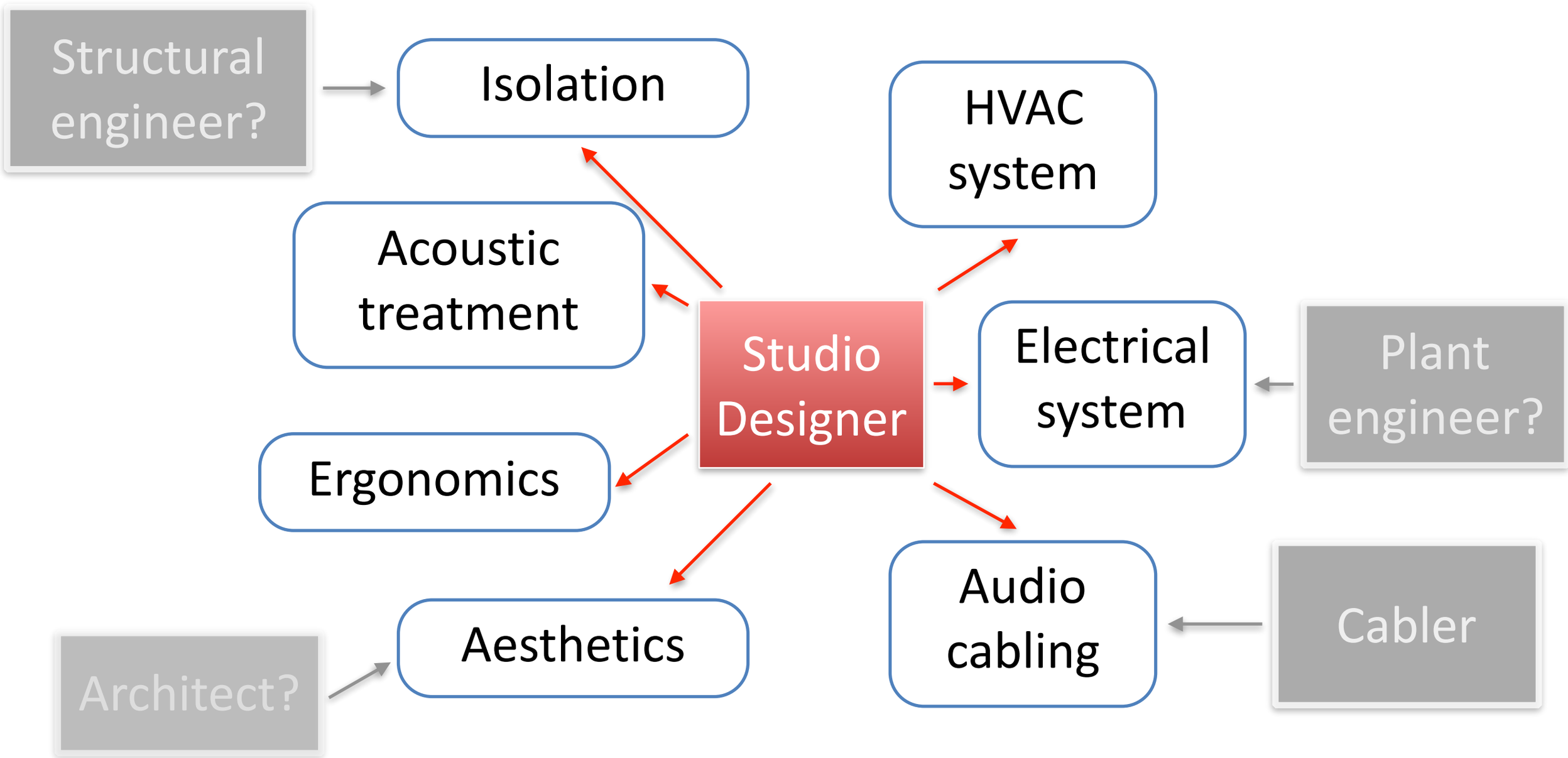
Audio facility design



Audio facility design



Audio facility design



Studio Designer VS Acustico

Uno Studio Designer non è solo un consulente acustico!!!
Dev'essere esperto in:

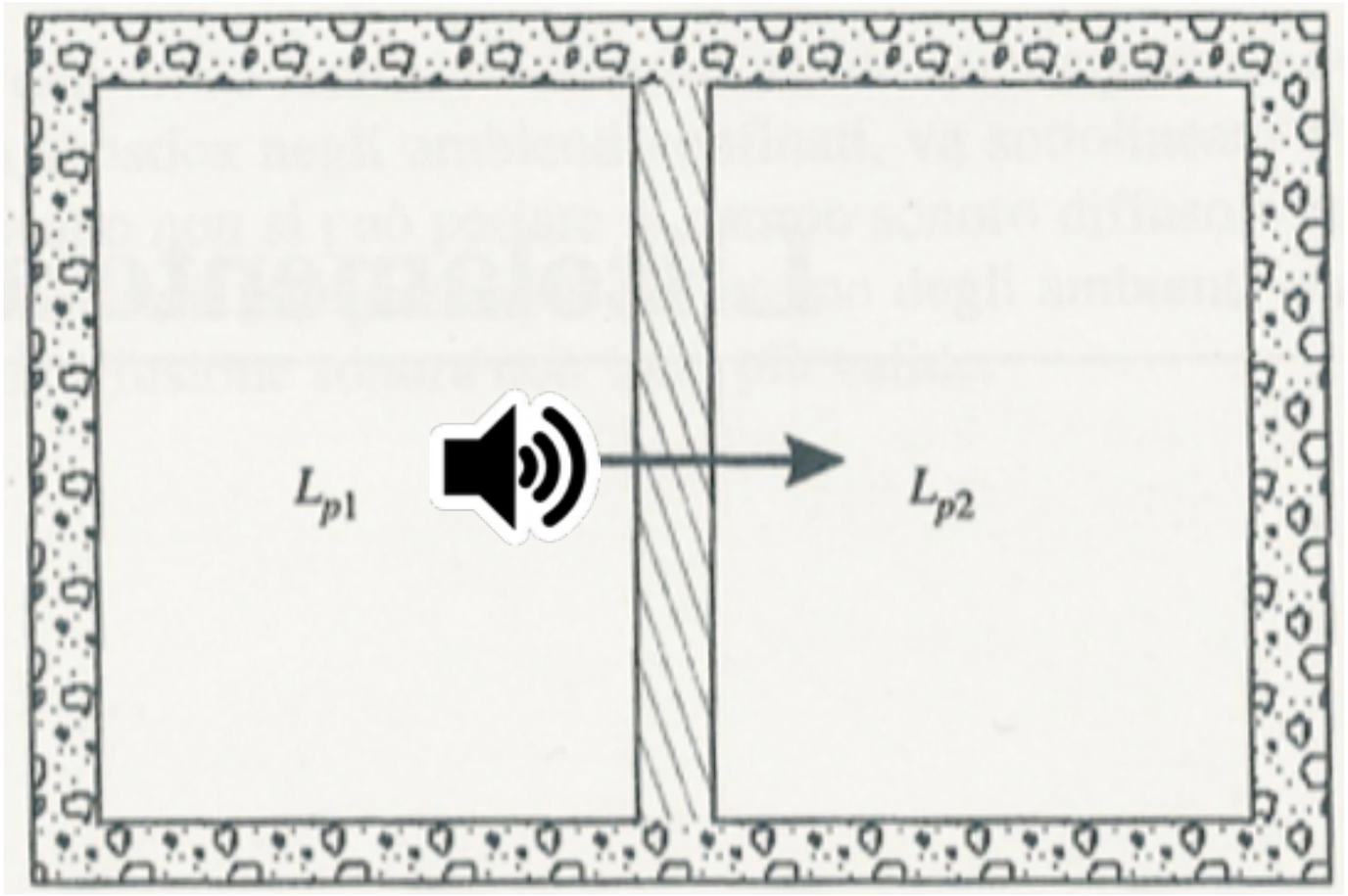
- acustica;
- elettroacustica (in particolare studio monitors);
- audio/video production;
- music;
- estetica delle audio facility;
- ergonomia;
- impianti usati nelle audio facility;
- richieste e trend del mercato (musician, a/v post, producers, DJs, cinema).

Isolamento acustico

Trattamento acustico vs Isolamento acustico

Isolamento acustico

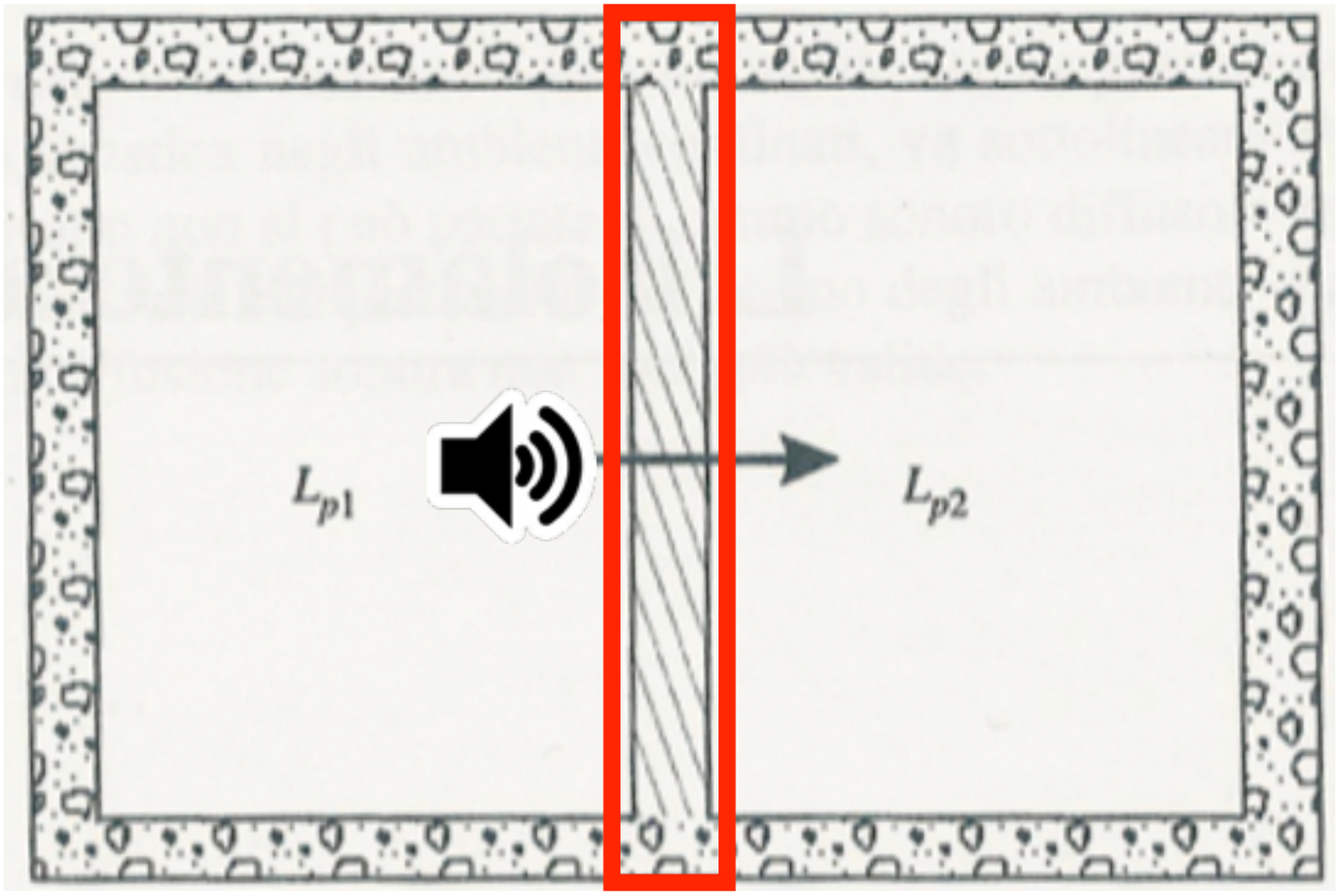
Definizione: isolamento acustico



I = Lp1 - Lp2

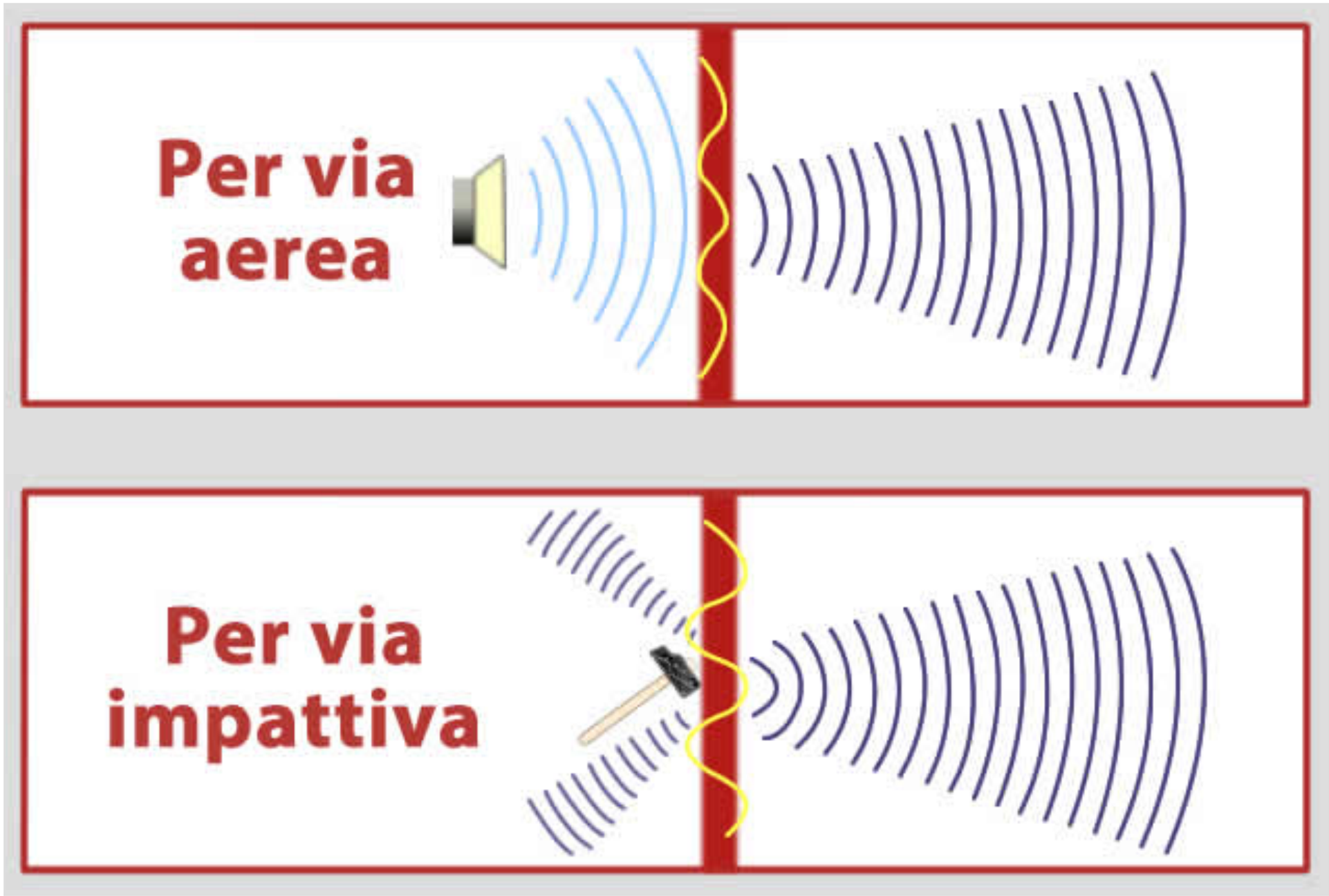
Isolamento acustico

Definizione: potere fonoisolante

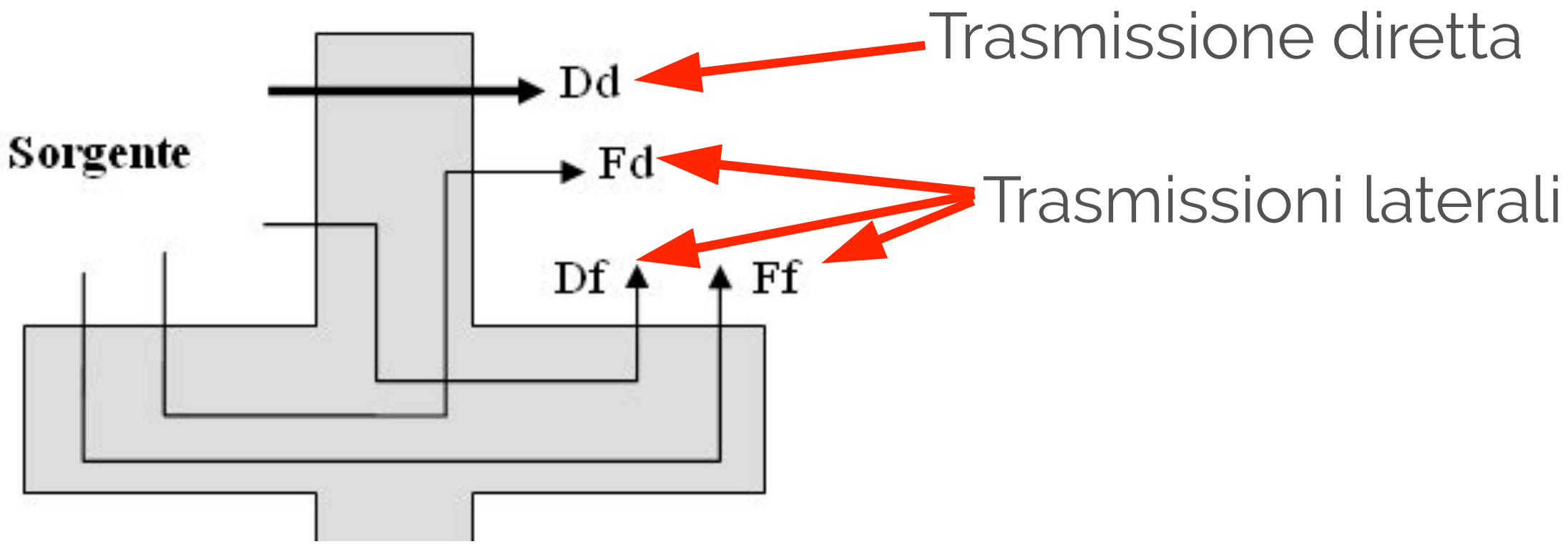


R = 10 log (Winc / Wtras)

Trasmissione del rumore



Trasmissione del rumore



Fonoisolamento: progettazione

Quali aspetti vanno considerati quando si progetta una partizione fonoisolante?

Distanza

Massa

Rigidezza

Smorzamento

Fonoisolamento: progettazione

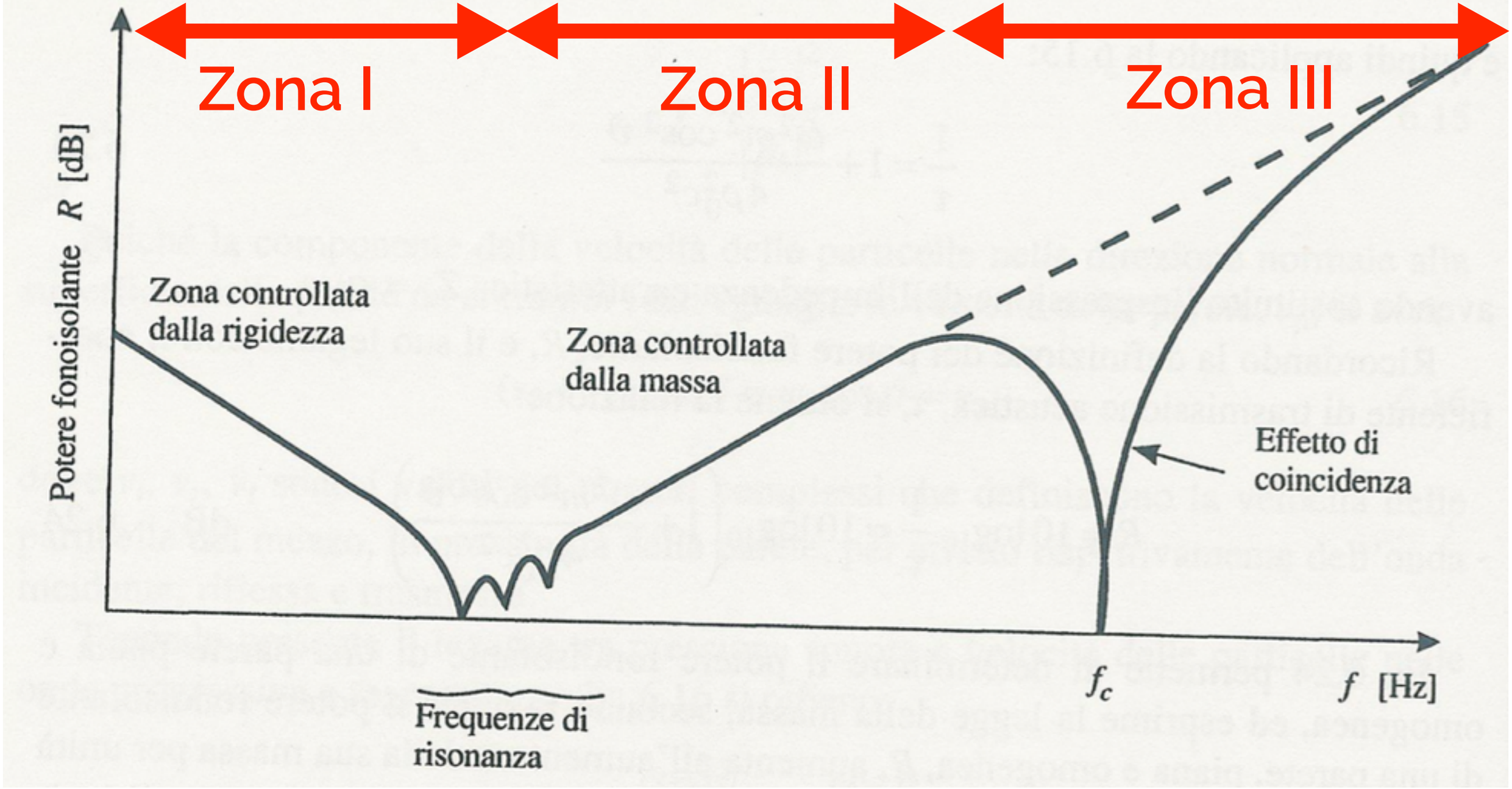
Massa:

Spostare una massa maggiore richiede più energia rispetto a muoverne una minore. Di conseguenza, un elemento pesante sollecitato da un'onda acustica tenderà a restituire più energia riflessa.

Legge di massa: il potere fonoisolante di una parete piana e omogenea aumenta all'aumentare della sua massa superficiale [kg/mq]: in particolare, aumenta di 6 dB per ogni raddoppio della massa superficiale.

La legge di massa è valida solo alle frequenze centrali.
Alle basse frequenze si hanno effetti di **risonanza** che rendono la parete *trasparente* al suono.

Alle alte frequenze si ha un effetto analogo causato dalla **coincidenza**.



Andamento in funzione della frequenza del potere fonoisolante di una piastra

Zona I-II: RISONANZA: La parete viene messa in vibrazione da un'onda di frequenza in grado di mandare in risonanza il materiale, per tale frequenza e quelle limitrofe il potere fonoisolante del materiale è compromesso.

Zona II: LEGGE DI MASSA: vale la legge di massa: il potere fonoisolante aumenta di 6 dB per ogni ottava.

Zona II-III: COINCIDENZA: quando si verifica l'effetto di coincidenza, la frequenza delle componenti tangenziali dell'onda sonora incidente coincide con la frequenza di risonanza delle onde flessionali della parete.

Fonoisolamento: progettazione

Rigidezza:

Se la massa non è rigida può vibrare alla sua frequenza naturale e un po' di energia può essere assorbita durante la risonanza della struttura: l'isolamento dipenderà da quanto la massa è libera di risuonare.
Se la massa è perfettamente rigida, non si hanno risonanze perché la vibrazione richiede un movimento e l'infinita rigidezza lo impedisce.

Non esistono materiali leggeri infinitamente rigidi, quindi, l'unico modo per raggiungere alti gradi di isolamento a brevi distanze è ricorrere a strutture pesanti e molto rigide.

Smorzamento:

Lo smorzamento si ottiene disaccoppiando meccanicamente le strutture. All'atto pratico, ciò si può realizzare tramite vari dispositivi e materiali (molle metalliche, materassini o blocchi di gomma, materiali fibrosi, schiume poliuretaniche).

Fonoisolamento: progettazione

Combinare i quattro aspetti descritti permette di realizzare strutture fonoisolanti: pareti verticali, soffitti, pavimenti, ma anche infissi e aperture.

Per raggiungere alte prestazioni, però, non può bastare intervenire sulla singola parete (o solaio) comunicante tra due ambienti disturbato/ disturbante; le trasmissioni laterali che si propagano attraverso le strutture non sono mai trascurabili.

Quando si vuole realizzare un ambiente isolato che blocchi anche le **basse** frequenze è necessario costruire un sistema composito chiamato “box in a box”: una scatola nella scatola.

Fonoisolamento: progettazione

Il massimo grado di incertezza nelle previsioni del fenomeno di trasmissione si ha alle basse frequenze. Infatti, più le frequenze sono basse, più il fenomeno della trasmissione riguarda le propagazioni strutturali.

Quando si eccita una struttura con una sorgente a bassa frequenza (di natura vibrazionale) arrestare la propagazione è molto difficile: la vibrazione percorre tutto l'elemento e si trasmette a quegli comunicanti, fino a grandi distanze.

Le incertezze derivano dall'imprevedibilità con cui le onde a bassa frequenza si propagano.

X passi per la progettazione acustica degli studi

I Scegliere gli spazi (dimensioni, porte e finestre, etc.)
II Isolamento acustico
III Listening point/area (modi della stanza)
IV Design acustico
V Posizionamento delle sorgenti (strumenti e casse)
VI Assorbimento acustico
VII Diffusione acustica
VIII Ergonomia
IX Estetica
X Elettronica – (auto)calibrazione

I Scegliere gli spazi

Altezza

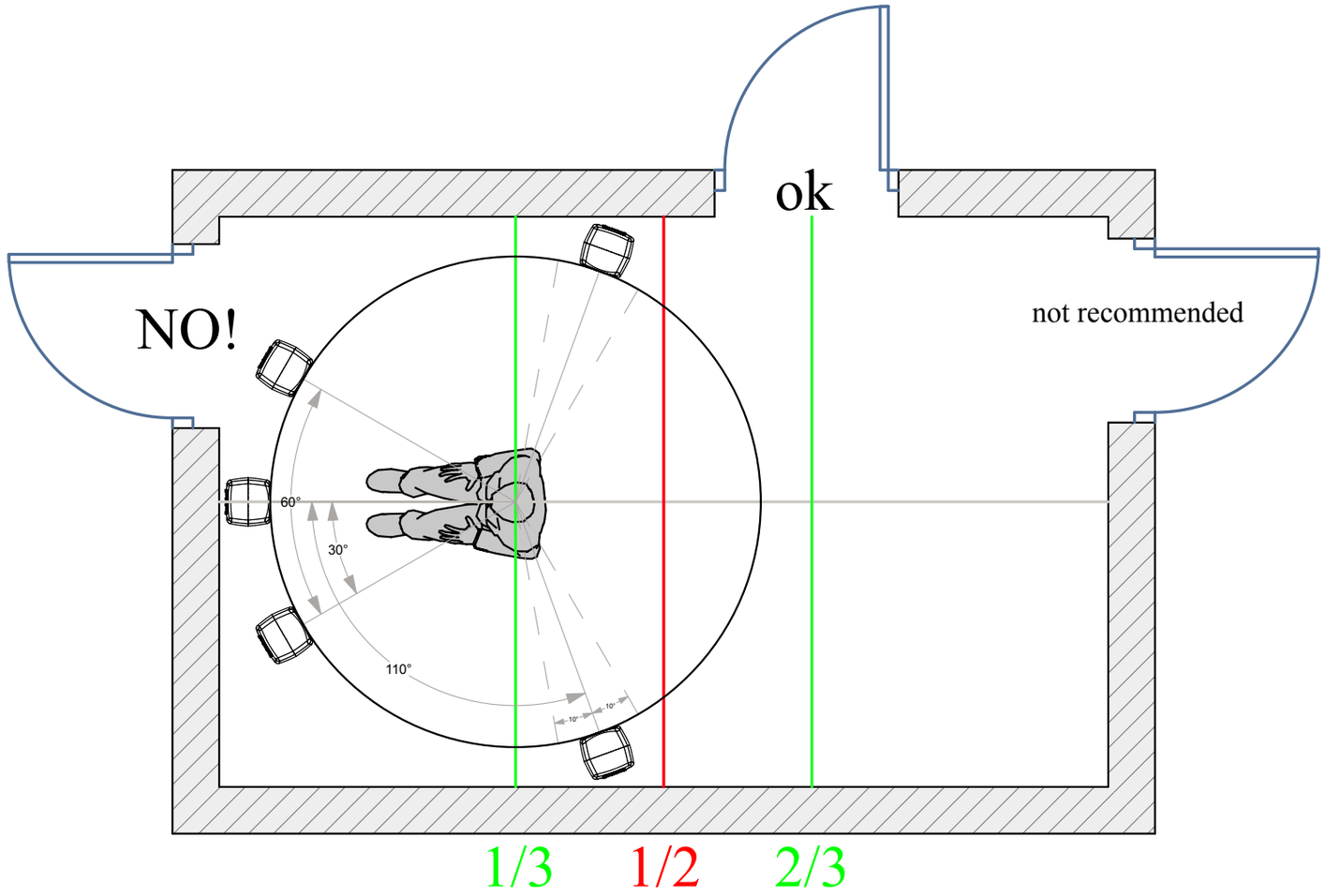
- una sala di 3m di altezza sarà 2.7m dopo l'isolamento acustico (senza trattamento);
- se avete una sala di 2.4m di altezza, il punto d'ascolto sarà a metà (1.2m) ossia nella posizione peggiore;
- ci vogliono circa 40÷80 cm di trattamento acustico per avere risultati professionali.

Dimensioni

- si potrebbe scegliere una stanza dalle dimensioni "ottimali" (Bolt Area etc.) ma dopo un trattamento acustico questo non è così importante… e comunque…
- non usare sale quadrate o cubiche!!!
- una stanza più lunga è meglio di una più larga;
- per stanze piccole, non si pensi che abbassare il soffitto sia meglio per ricavarne delle dimensioni "ottimali"!
- Attenzione alle pareti parallele

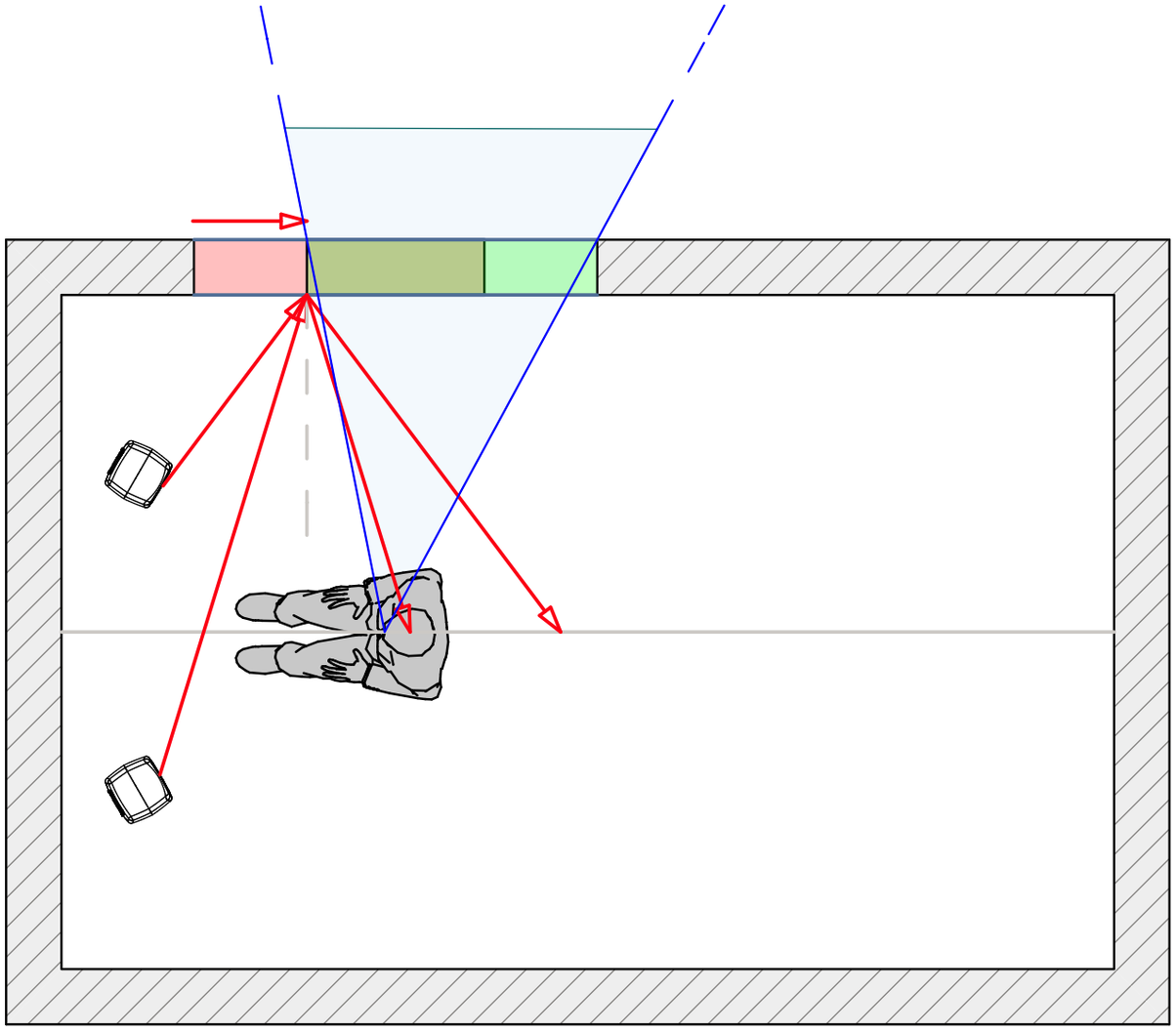
Porte

- non è conveniente piazzare le porte nel muro davanti (in particolare se la porta non è particolarmente massiccia);
- il miglior posto per posizionare la porta è sul lato dietro il sound engineer;
- si può avere una porta anche sul retro, se la sala non è troppo piccola.



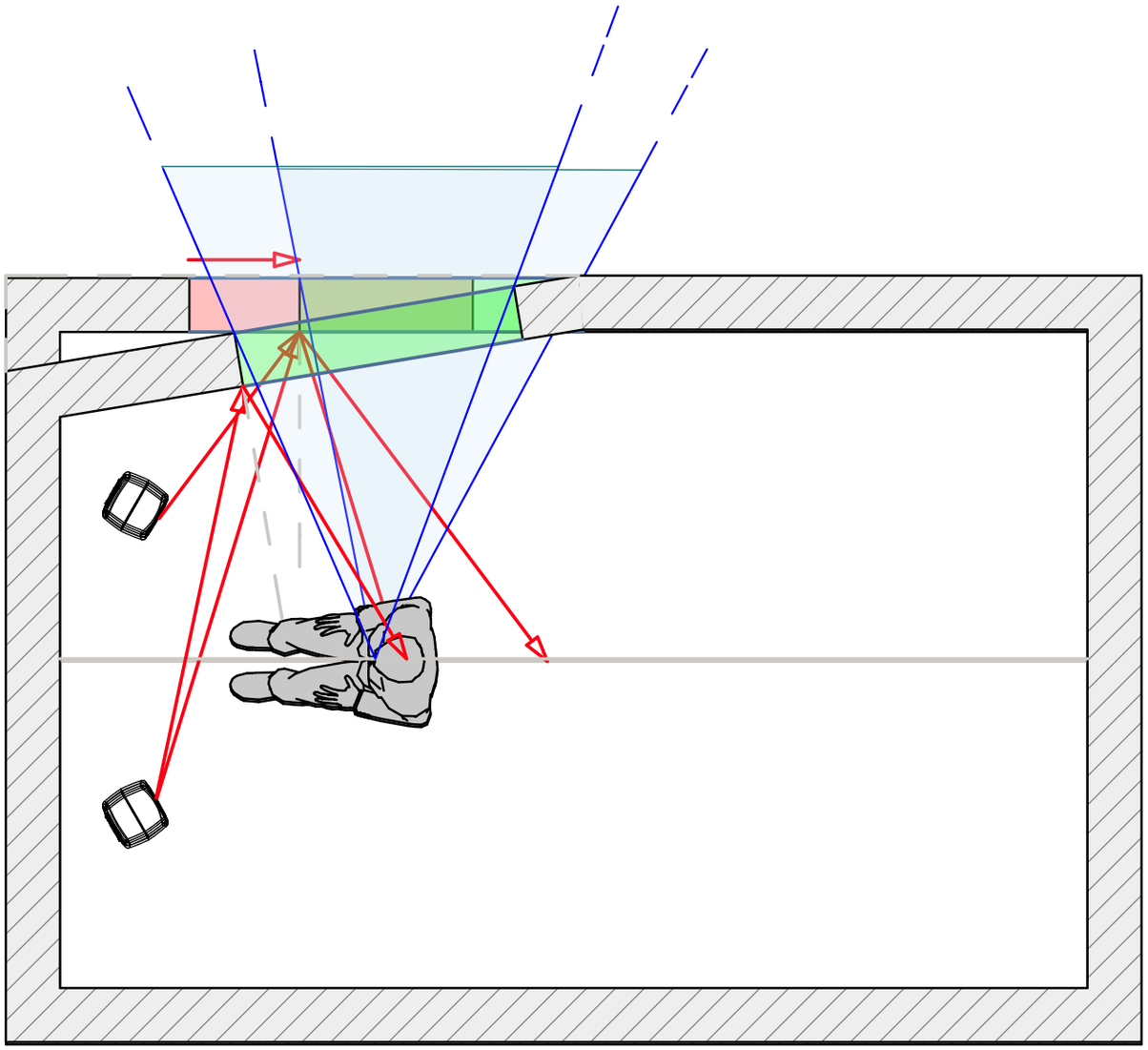
Finestre/Visive

- è preferibile evitare la visiva sul muro frontale se si usa un sistema 5.1;
- se si vuole una visiva sul lato, vicino al fronte, l'unico modo è inclinare la parete laterale per indirizzare le riflessioni dietro al punto d'ascolto;
- è meglio non inserire tanto vetro. Anche sistemando le riflessioni, si creano diversi problemi, specialmente alle basse frequenze



Finestre/Visive

- è preferibile evitare la visiva sul muro frontale se si usa un sistema 5.1;
- se si vuole una visiva sul lato, vicino al fronte, l'unico modo è inclinare la parete laterale per indirizzare le riflessioni dietro al punto d'ascolto;
- è meglio non inserire tanto vetro. Anche sistemando le riflessioni, si creano diversi problemi, specialmente alle basse frequenze



Mulinetti Studio (Alberto Parodi) @ Genova
Resolution Cover 04/2015

Mulinetti Studio (Alberto Parodi) @ Genova
Resolution Cover 04/2015

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

Mulinetti Studio (Alberto Parodi) @ Genova
Resolution Cover 04/2015

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

Mulinetti Studio (Alberto Parodi) @ Genova
Resolution Cover 04/2015

Mulinetti Studio (Alberto Parodi) @ Genova
Resolution Cover 04/2015

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

Mulinetti Studio (Alberto Parodi) @ Genova
Resolution Cover 04/2015

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

Mulinetti Studio (Alberto Parodi) @ Genova
Resolution Cover 04/2015

Mulinetti Studio (Alberto Parodi) @ Genova
Resolution Cover 04/2015

Mulinetti Studio (Alberto Parodi) @ Genova
Resolution Cover 04/2015

Mulinetti Studio (Alberto Parodi) @ Genova
Resolution Cover 04/2015

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

Mulinetti Studio (Alberto Parodi) @ Genova
Resolution Cover 04/2015

Mulinetti Studio (Alberto Parodi) @ Genova
Resolution Cover 04/2015

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

Il Isolamento acustico

Valutazione del tipo di isolamento necessario

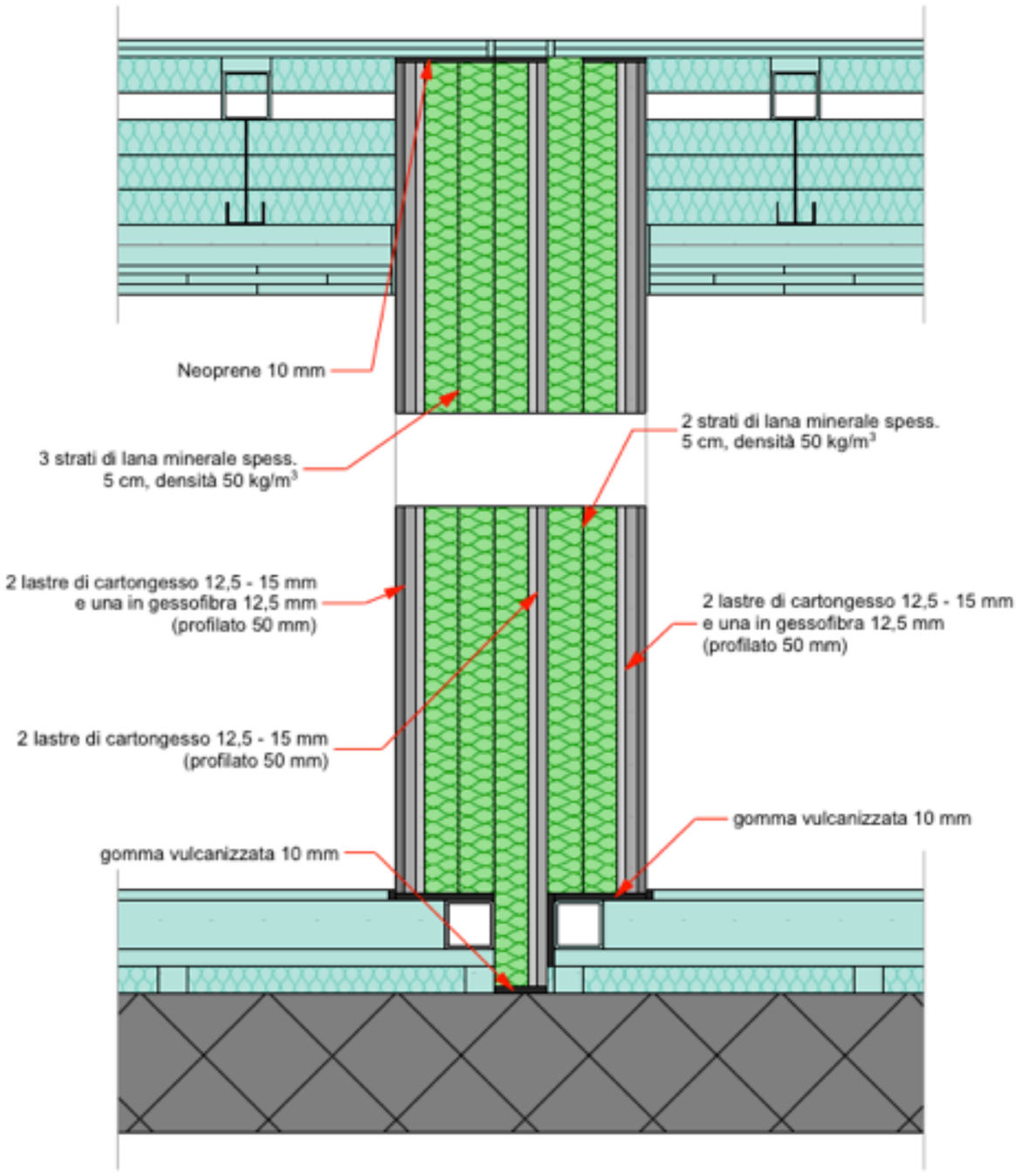
<u>Progettazione</u>:

- Pareti
- Soffitto
- Pavimento
- Porte
- Visive

<u>Posa in opera</u>

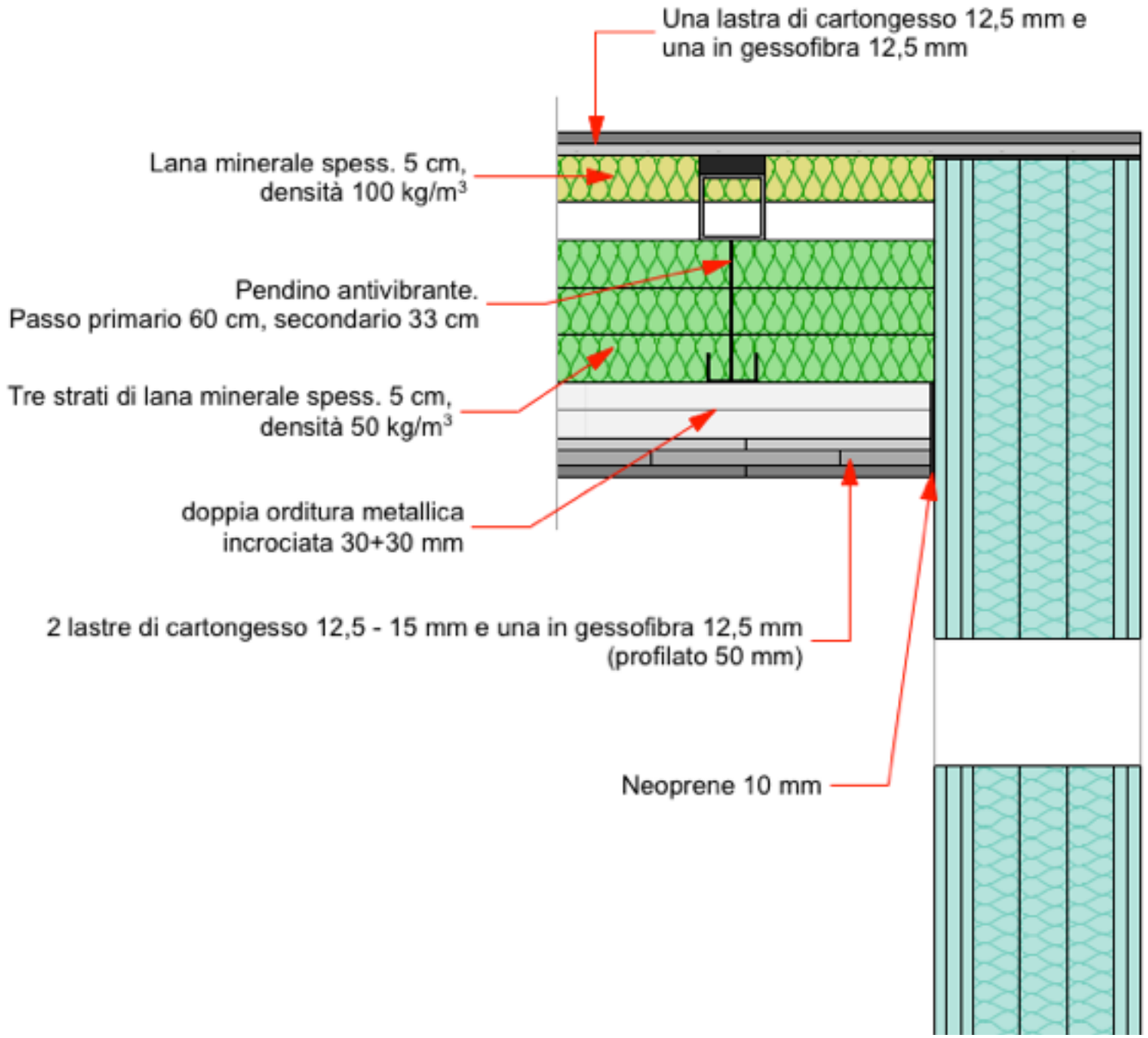
Il Isolamento acustico

Pareti:



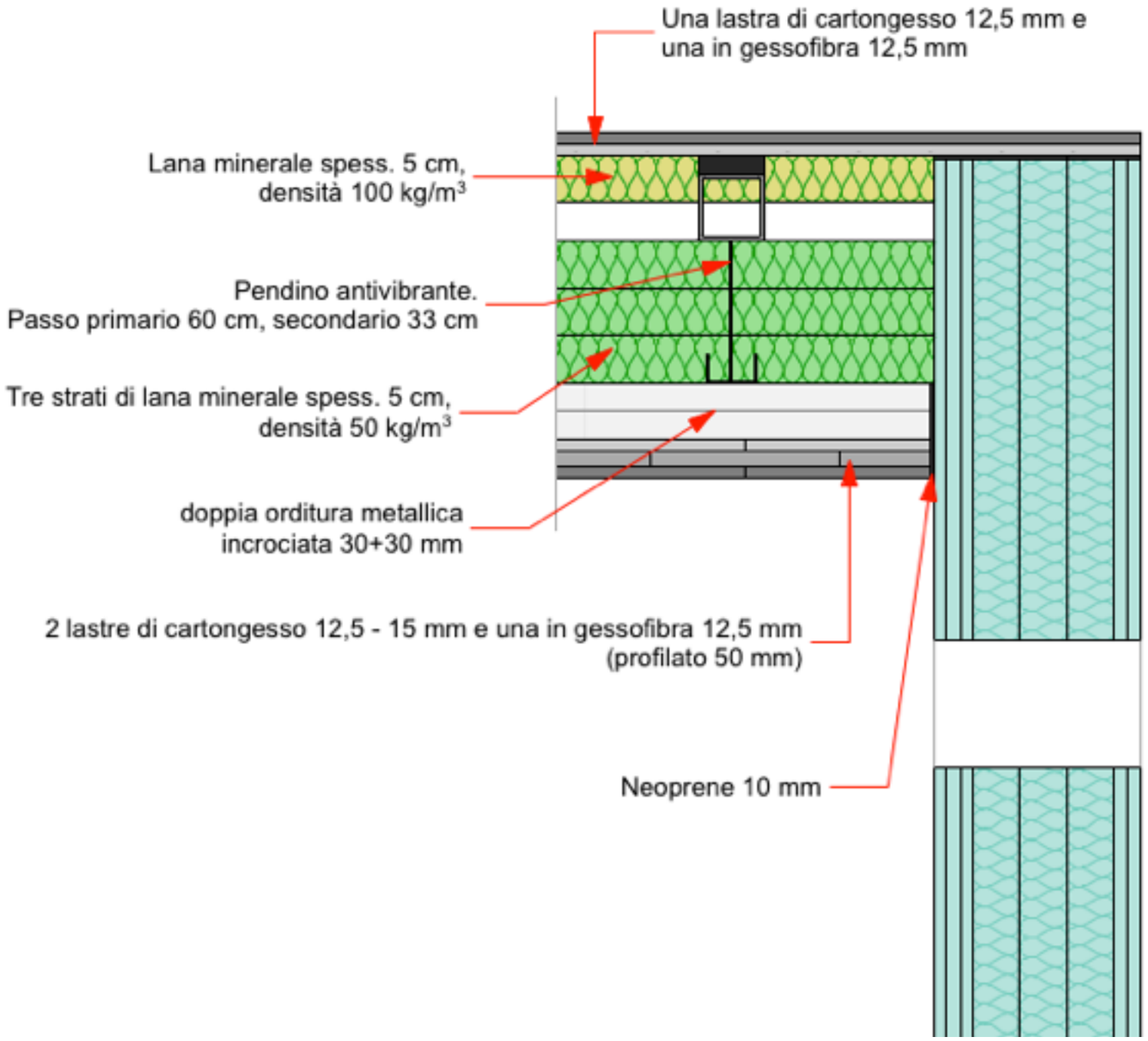
Il Isolamento acustico

Soffitto:



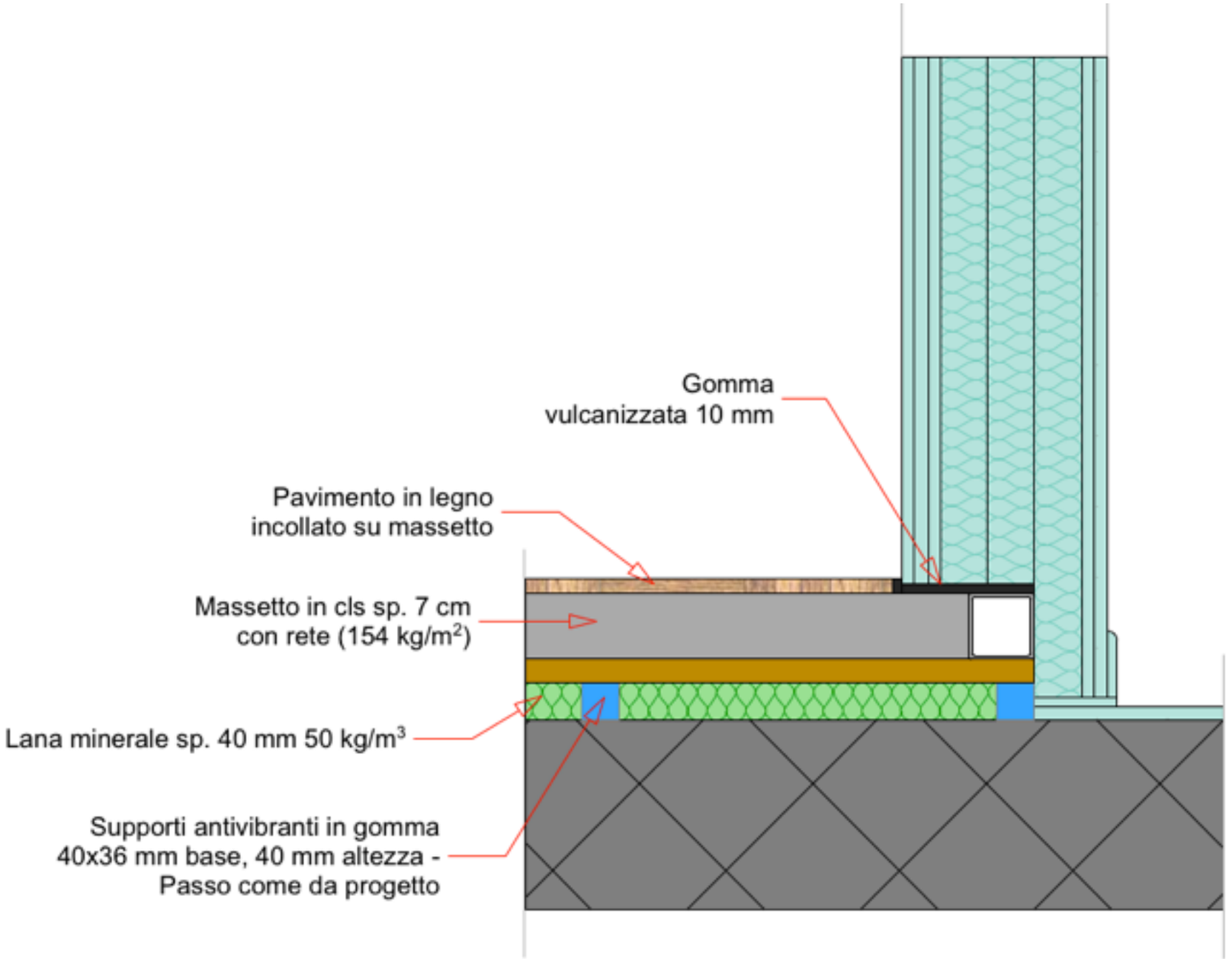
Il Isolamento acustico

Soffitto:



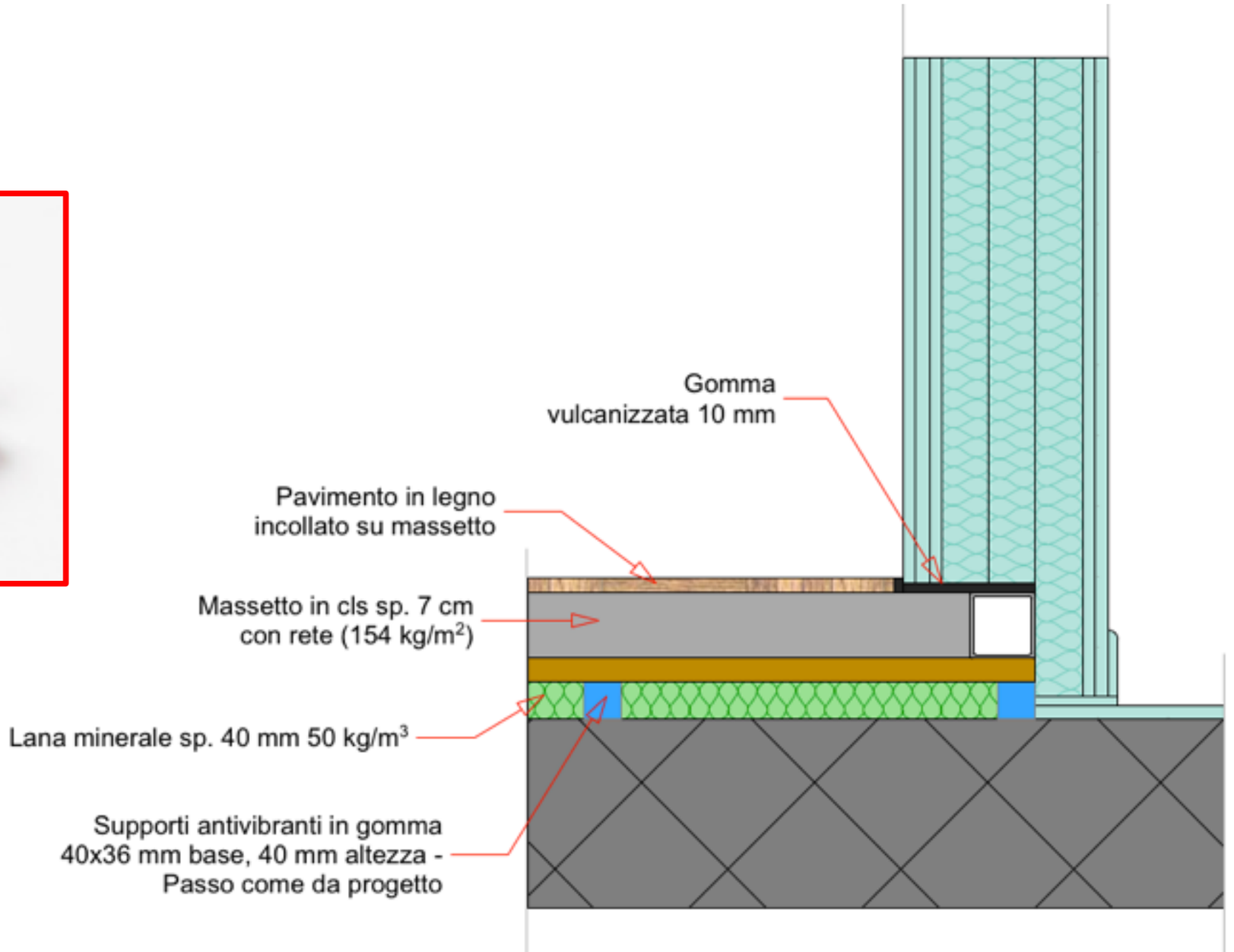
Il Isolamento acustico

Pavimento:



Il Isolamento acustico

Pavimento:

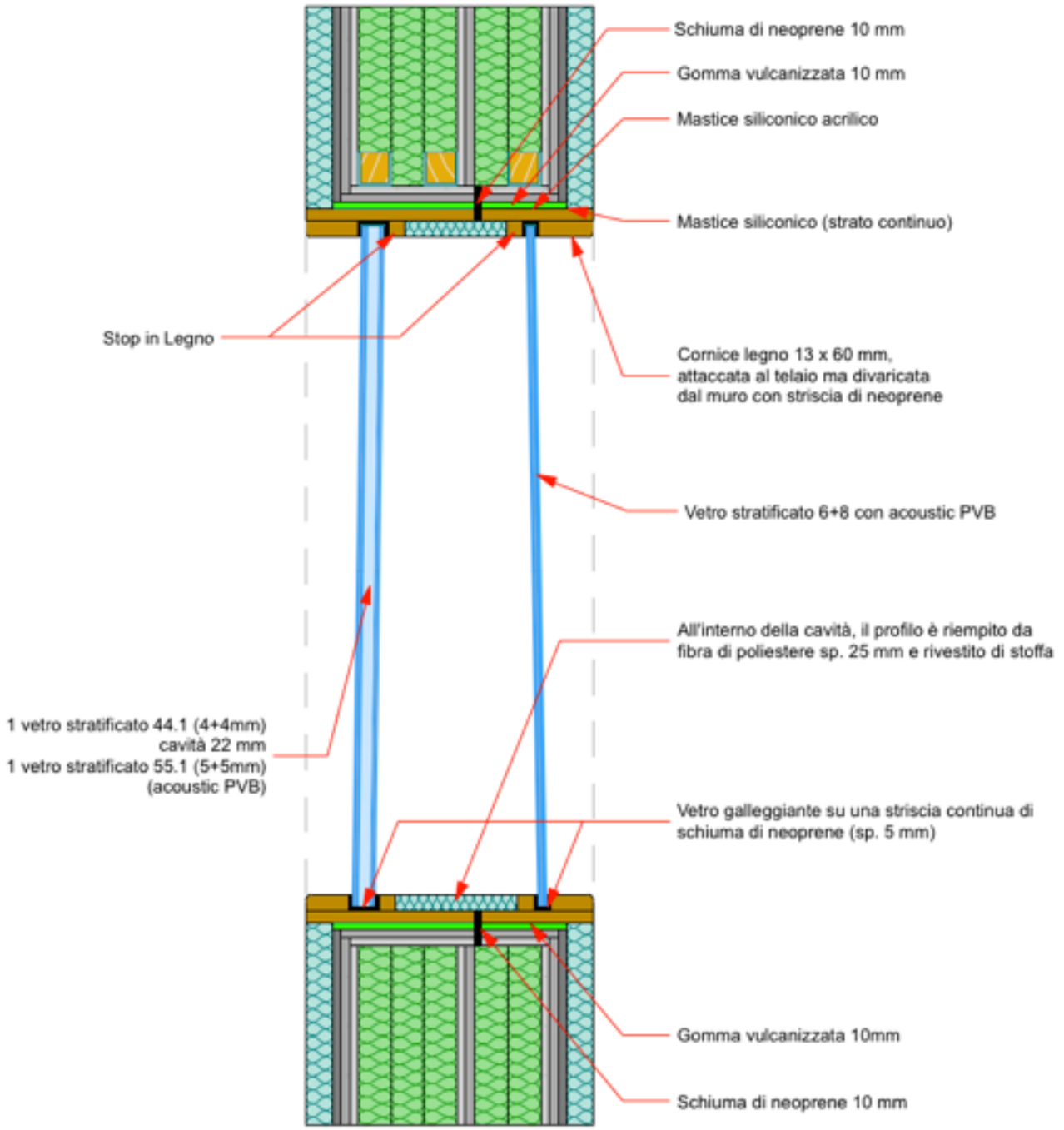


Il Isolamento acustico

Il Isolamento acustico

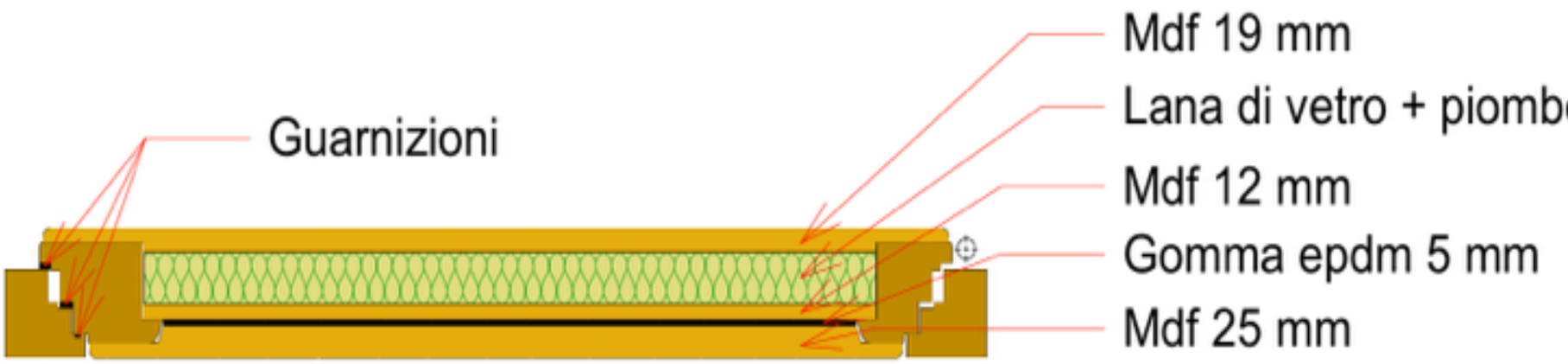
II Isolamento acustico

Visive:



Il Isolamento acustico

Porte:



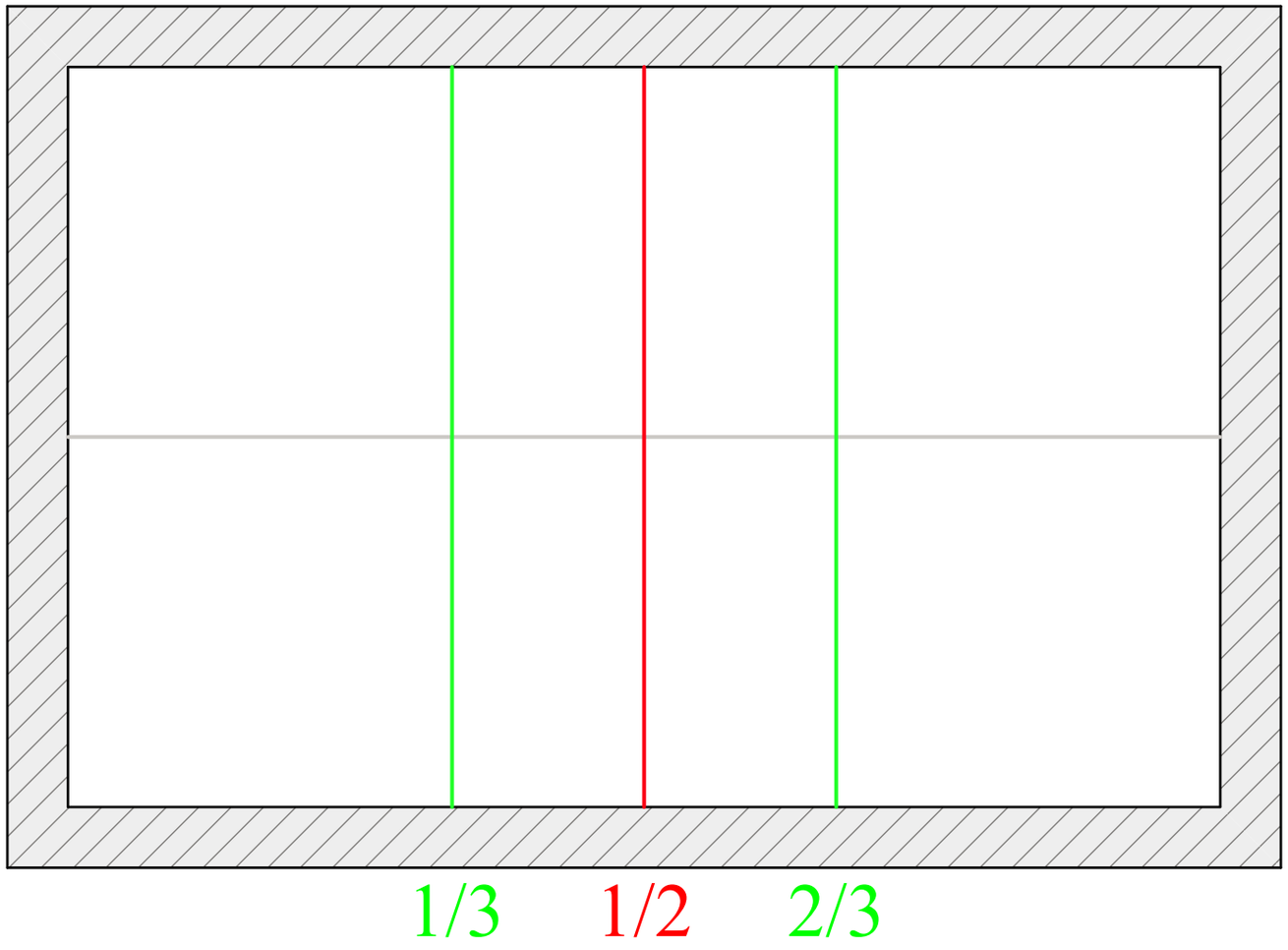
Il Isolamento acustico

Impianti di areazione:

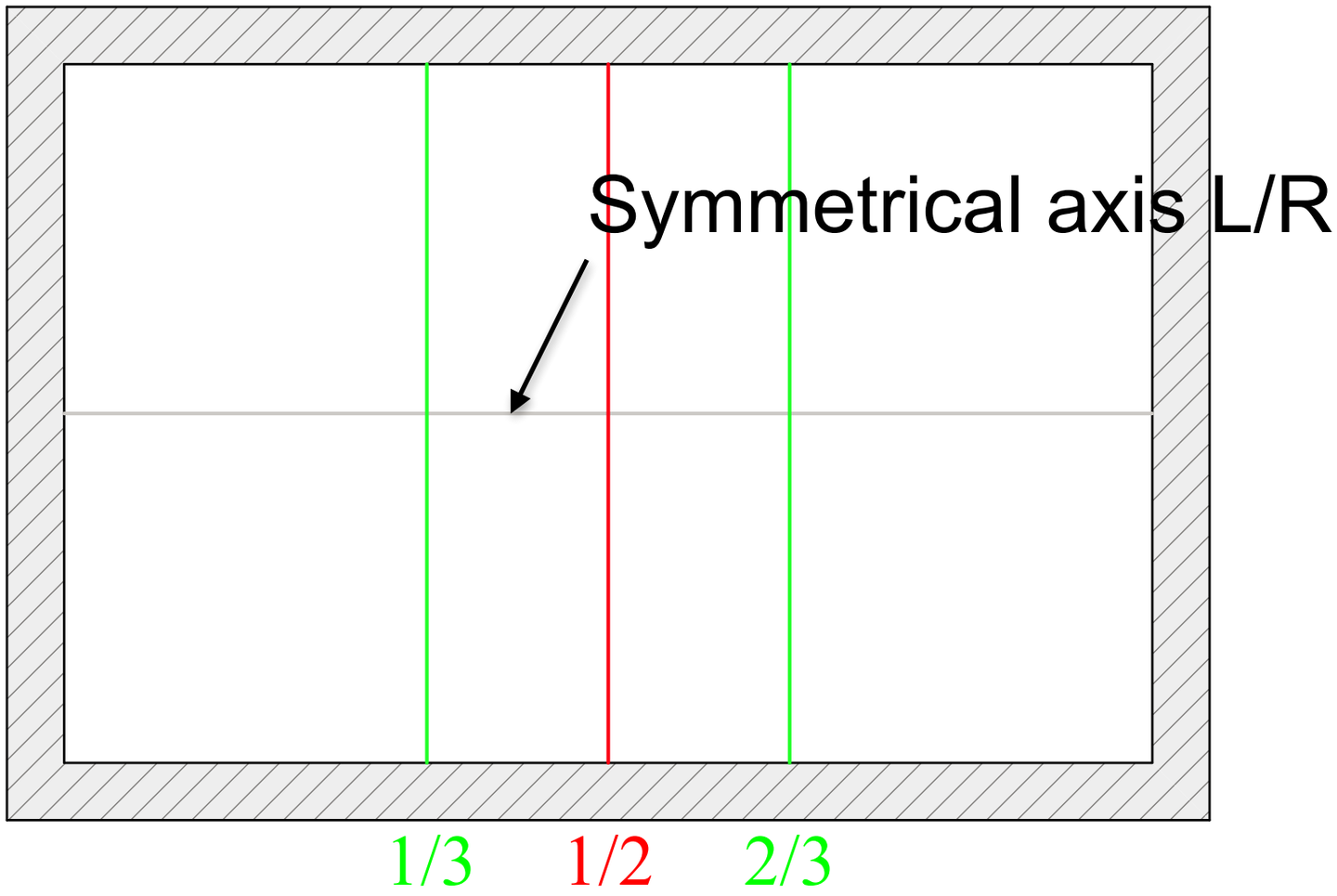
Il Isolamento acustico

Impianti di areazione:

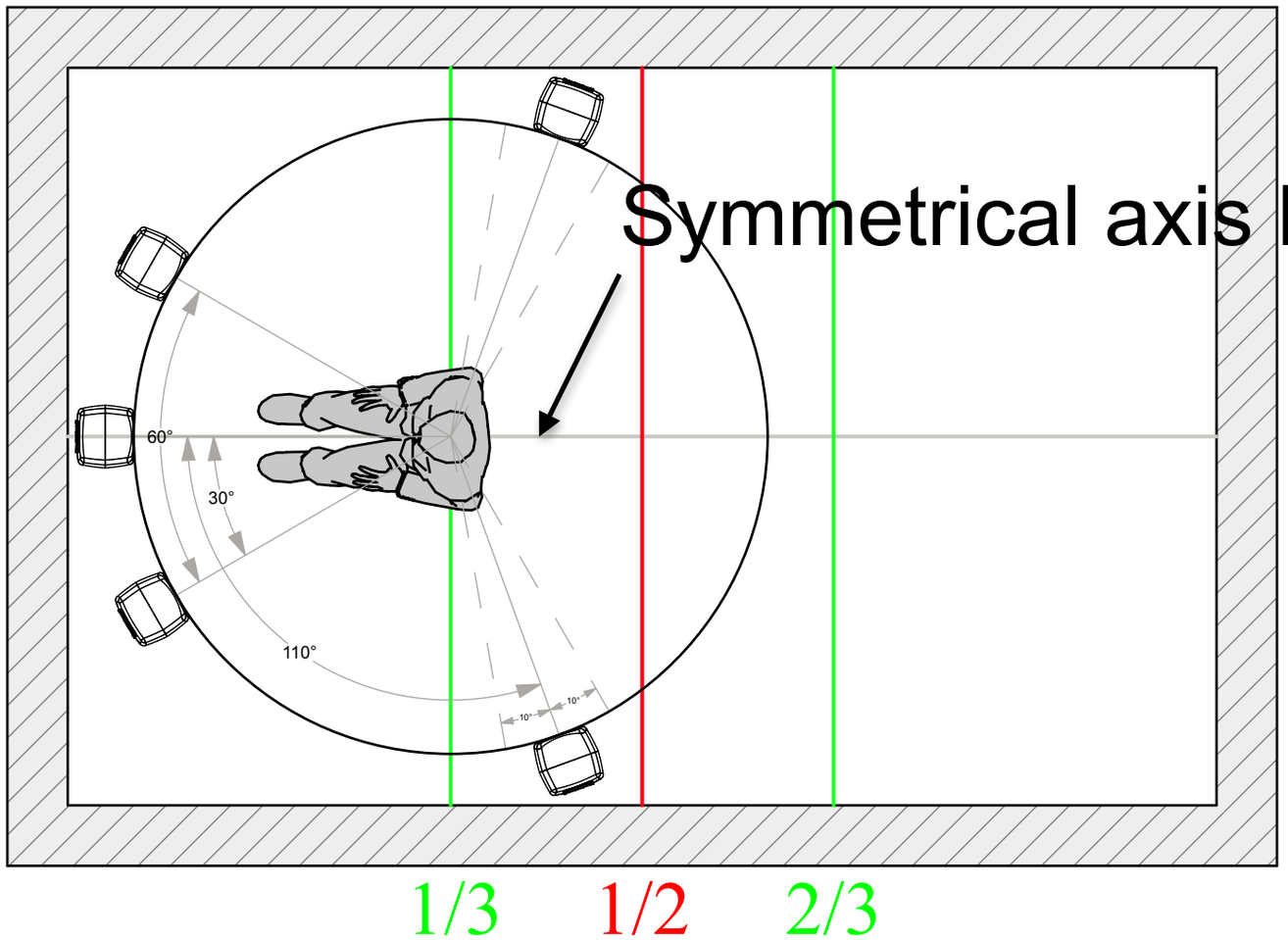
III Listening point/area



III Listening point/area

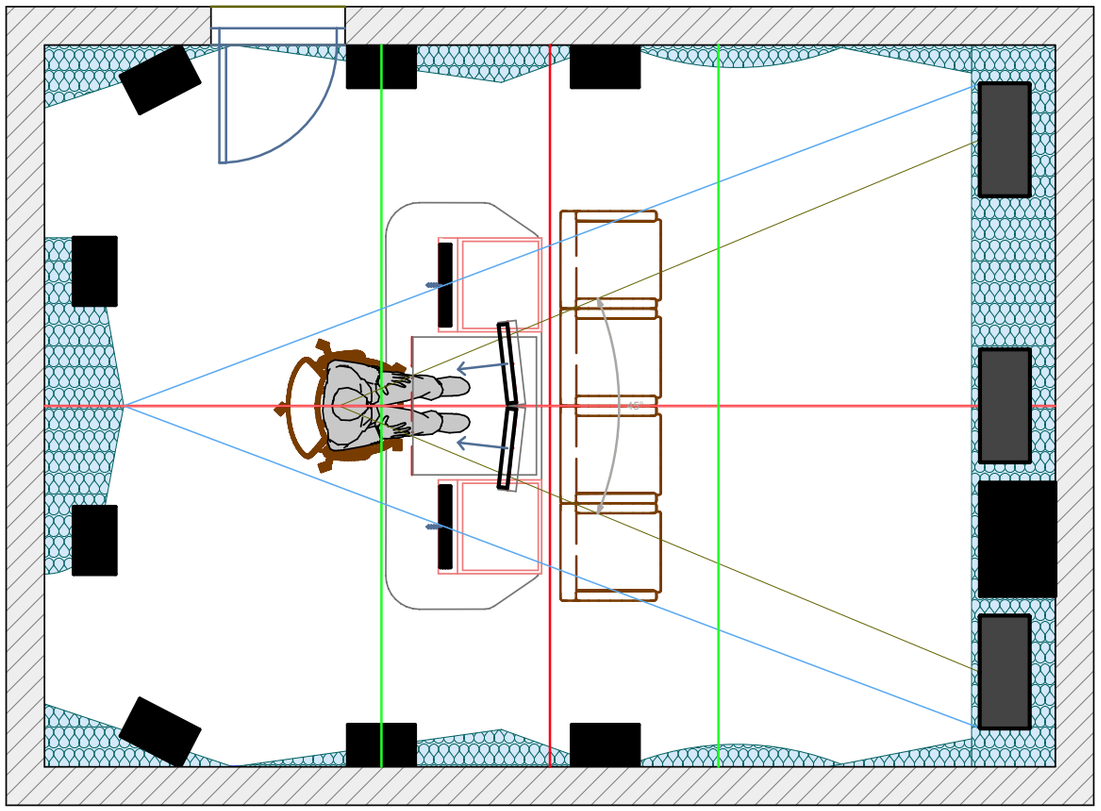


III Listening point/area

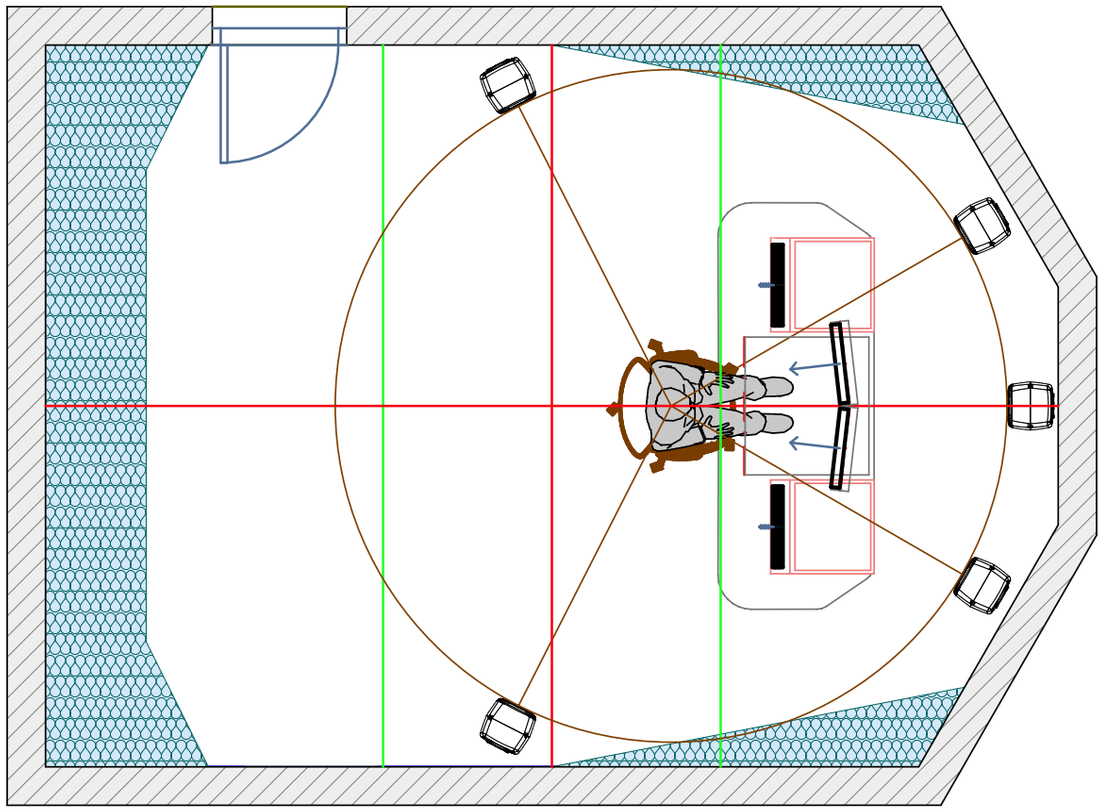


Configurazioni differenti

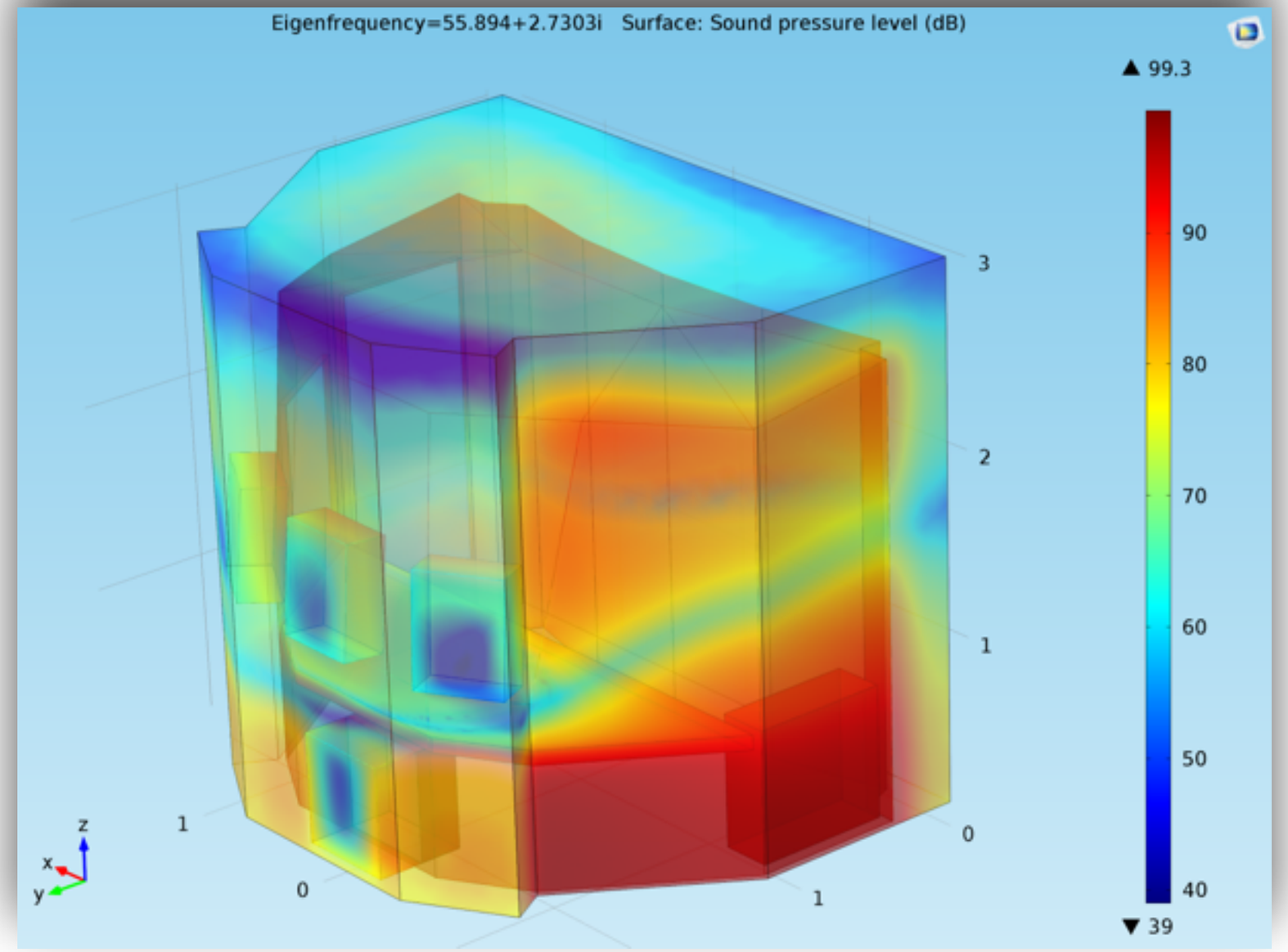
Diffuse Field (Dolby) (2/3)



ITU (1/3)



FEM simulation



FEM simulation (COMSOL)

FOX intl. ch. UK

Thanks to B&C Speakers for the image

IV Design acustico

Le sale regia hanno necessità particolari e i parametri acustici devono rientrare in un range, mentre le sale ripresa possono avere una sonorità particolare a seconda delle esigenze e del tipo di musica.

Per le regia ci sono dei “design standard” e delle linee guida da rispettare.

Control room design

Cosa <u>non può</u> essere una sala regia?

a. una camera anecoica (sarebbe estraniante lavorarci per ore!!!)
b. una “tipica” sala domestica

Come si può definire una sala regia?

Come un posto dove poter ascoltare in modo più neutro possibile!

↓

Standards and guidelines!!!

EBU ITU AES

Control room design

I software CAD ACUSTICI (EASE, CATT, ODEON) non sono utili a frequenze inferiori a 100 Hz, non possono simulare la risposta modale della stanza.
I software FEM (COMSOL) possono essere utili per le basse frequenze, ma non sono così utilizzati.

↓

Quindi spesso si usa soltanto **fisica di base, geometria, esperienza** e design tipici, come:

LEDE RFZ Non-environment

Control room design

I software CAD ACUSTICI (EASE, CATT, ODEON) non sono utili a frequenze inferiori a 100 Hz, non possono simulare la risposta modale della stanza.
I software FEM (COMSOL) possono essere utili per le basse frequenze, ma non sono così utilizzati.

↓

Quindi spesso si usa soltanto **fisica di base, geometria, esperienza** e design tipici, come:

LEDE RFZ Non-environment

… e tante misure…

Considerazioni iniziali

sull'acustica dei piccoli ambienti

Nella comunità audio-pro è ormai assodato (*anche se molti addetti ai lavori non ne sono ancora al corrente!*) che la control-room debba essere un ambiente con caratteristiche acustiche più neutre possibili, ed in particolare, seguendo anche le linee guida AES (AESTD1001.1.01-10):

1. il tempo di riverberazione ottimale da 200 Hz in su dovrebbe assumere un valore di circa 0.25 s per sale di 100 m^3, e sulle basse frequenze può salire fino a circa 0.75 s; per sale più piccole (o più grandi) i valori ottimali si riducono (o allungano);
2. la risposta in frequenza dovrebbe essere più flat possibile, meglio se compresa tra ± 3 dB (anche se forse molti non sanno che la maggior parte delle casse considerate "professionali" hanno già un errore di ± 5 dB in camera anecoica!)
3. le prime riflessioni dovrebbero essere inferiori di almeno 15 dB dal suono diretto.

Standards and objectives

Reverberation time

1. il tempo di riverberazione ottimale da 200 Hz in su dovrebbe assumere un valore di circa 0.25 s per sale di 100 m^3, e sulle basse frequenze può salire fino a circa 0.75 s; per sale più piccole (o più grandi) i valori ottimali si riducono (o allungano);

$$T_m[s] \approx 0.25\left(\frac{V}{V_0}\right)^{1/3}$$

Reverberation time

T_m [s] = nominal value in region of 200 Hz to 4 kHz
V = listening room volume
V_0 = reference room volume (100 m^3)

$\approx 0.25\ (V/V_0)^{1/3}$
(Reverberation time decay and tolerance borders are shown in Figure 3.)

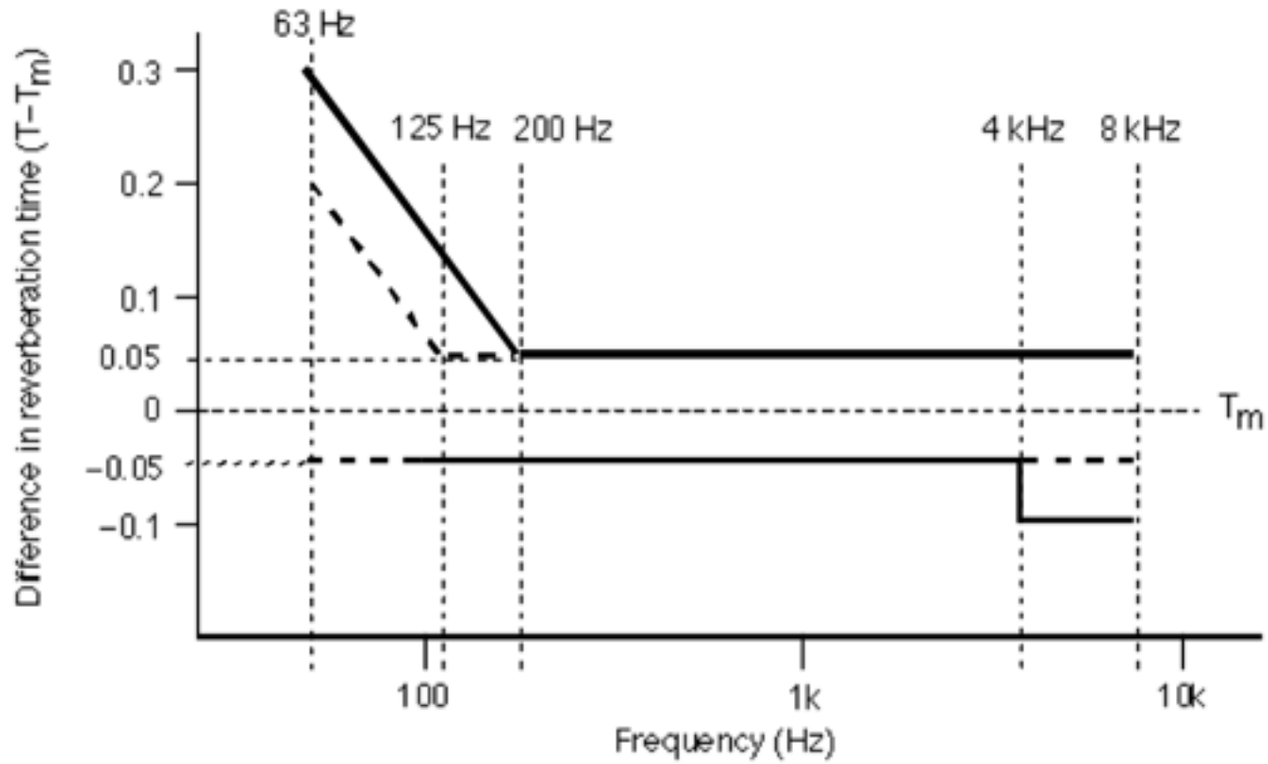


Figure 3. Tolerance mask for reverberation time, relative to arithmetic average value T_m. (Based on international recommendations, but extended to lower frequencies, with smaller tolerances in the range of 63–125/200 Hz.)

Standards and objectives

Frequency response

2. la risposta in frequenza dovrebbe essere più flat possibile, meglio se compresa tra ± 3 dB (anche se forse molti non sanno che la maggior parte delle casse considerate “professionali” hanno già un errore di ± 5 dB in camera anecoica!)

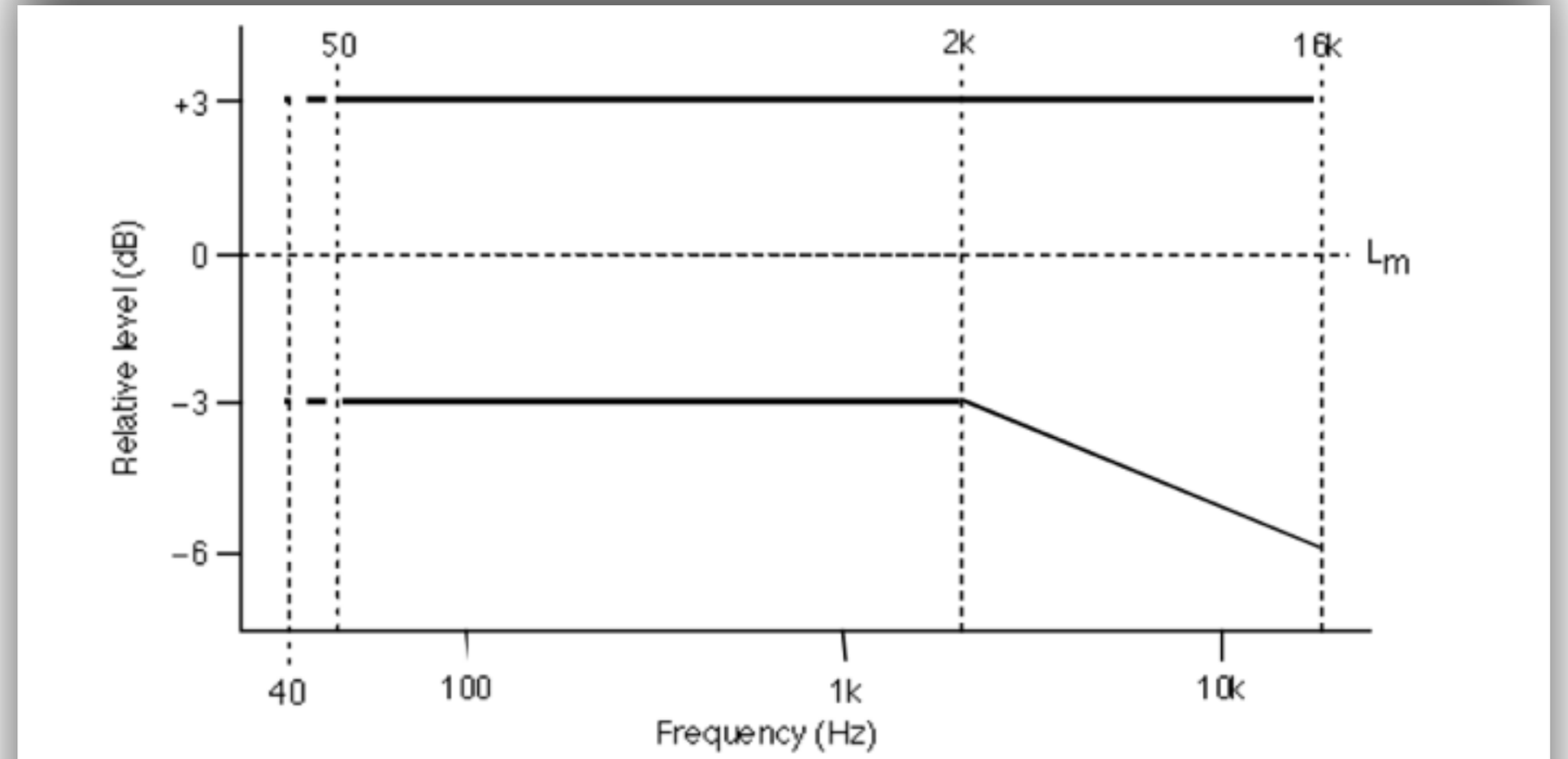


Figure 4. Tolerance limits of operational room response curve, relative level. (Based on international recommendations but extended to lower frequencies.)

Considerazioni iniziali

Cosa si guarda invece?

La prima cosa che guardano i fonici, sarà perché forse il suo grafico è anche più facilmente intuibile, è la **risposta in frequenza**. Purtroppo molti considerano soltanto questo parametro, non sapendo che, per sale non trattate, capita spesso che la risposta in frequenza sia piuttosto piatta (a parte un'enfatizzazione fisiologica delle basse frequenze, che si può facilmente correggere con un filtro roll-off o qualcosa di analogo, che generalmente hanno tutti i più famosi loudspeakers).

Il problema, in questo caso, è che, **pur avendo una risposta "abbastanza" flat non si ha una definizione sonora sufficiente per poter mixare, soprattutto alle basse frequenze**.

Considerazioni iniziali

Cosa si guarda invece?

La prima cosa che guardano i fonici, sarà perché forse il suo grafico è anche più facilmente intuibile, è la **risposta in frequenza**. Purtroppo molti considerano soltanto questo parametro, non sapendo che, per sale non trattate, capita spesso che la risposta in frequenza sia piuttosto piatta (a parte un'enfatizzazione fisiologica delle basse frequenze, che si può facilmente correggere con un filtro roll-off o qualcosa di analogo, che generalmente hanno tutti i più famosi loudspeakers).

Il problema, in questo caso, è che, **pur avendo una risposta "abbastanza" flat non si ha una definizione sonora sufficiente per poter mixare, soprattutto alle basse frequenze**.

Il motivo è che la componente del suono diretto della cassa che giunge al punto d'ascolto, è "colorata" dalla componente del suono riflesso e riverberato dalla stanza. Chiaramente, il tempo di riverberazione gioca un ruolo fondamentale, e d'altro canto, se fosse particolarmente basso, renderebbe l'ascolto non confortevole e molto distante da qualsiasi ambiente "normale": ecco perché si fissano dei valori ottimali relativi a questo parametro.

ante operam

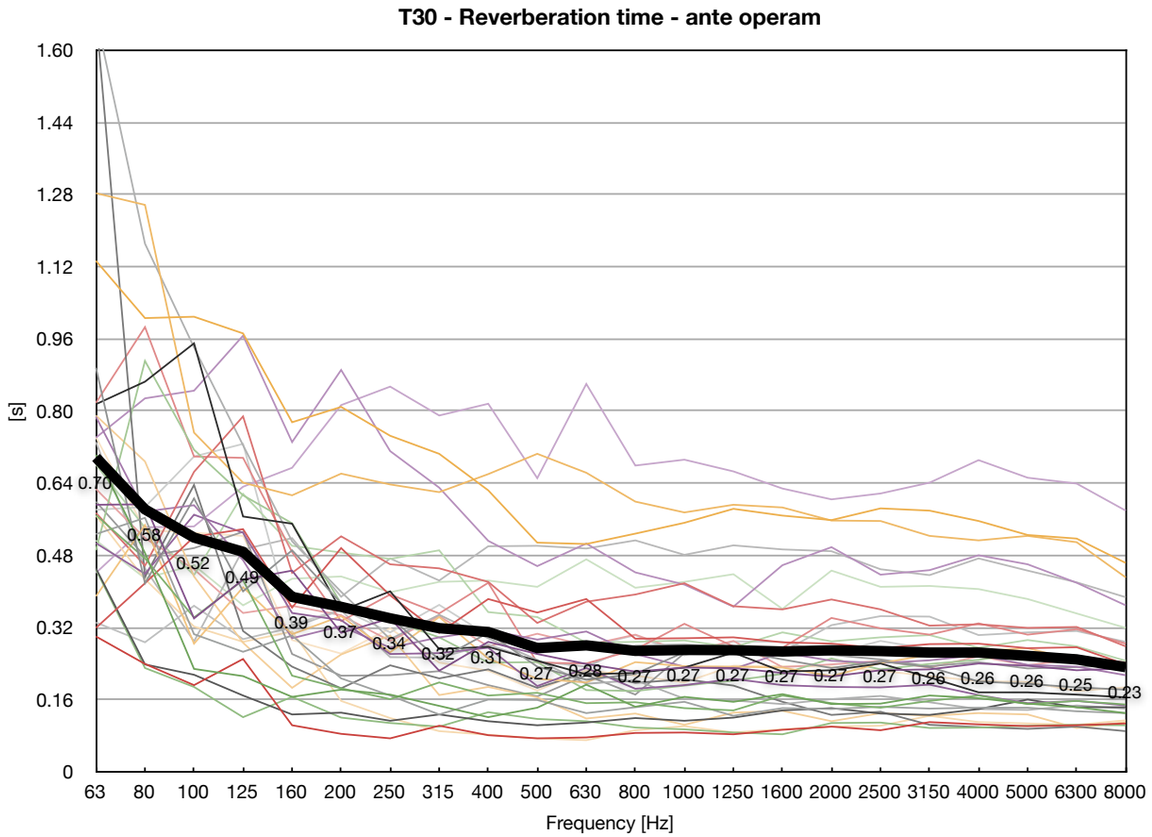
come sono gli studi che ci vengono presentati prima di un intervento?

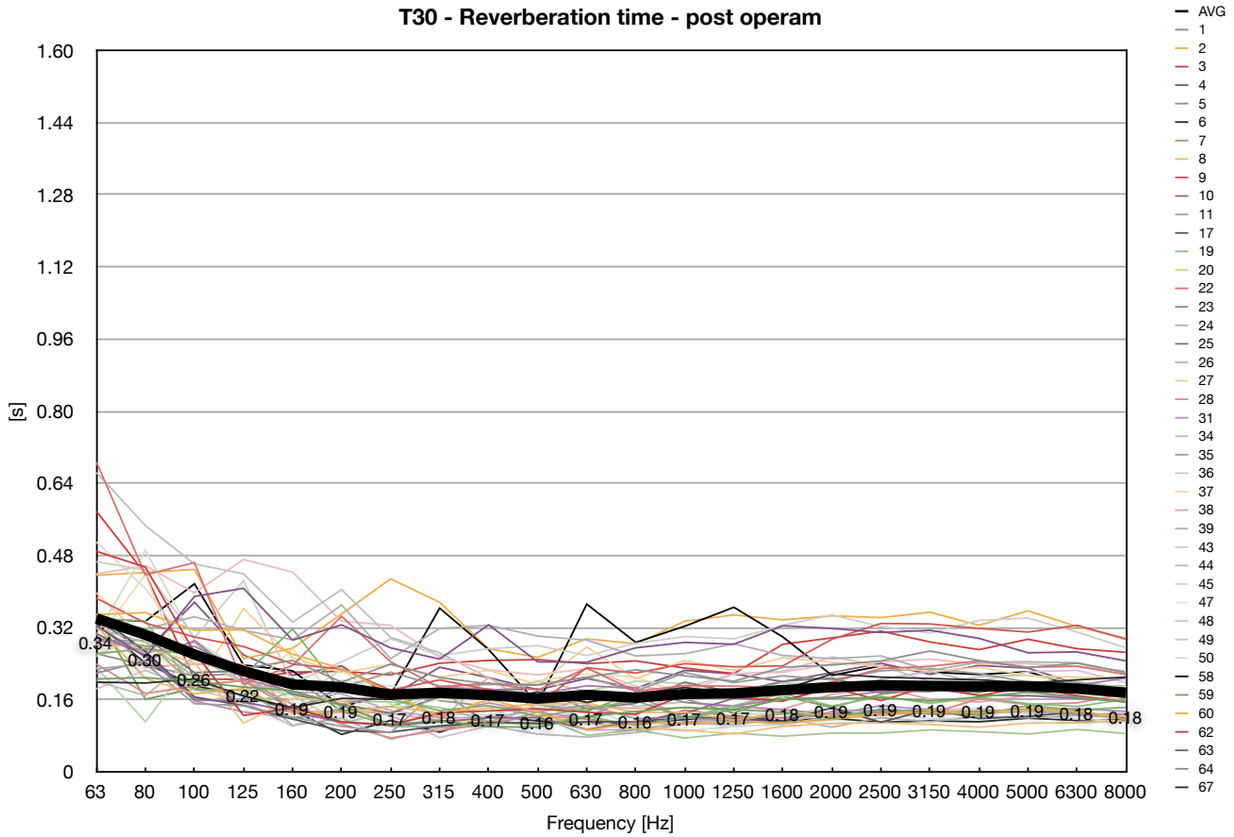
- una piccola parte dei clienti ci propone **stanze assolutamente non trattate**;
- un'altra, più consistente, con **trattamenti auto-costruiti** effettuati con soluzioni varie viste su internet, ma che spesso non coinvolgono in modo corretto le basse frequenze;
- infine, la grande maggioranza tratta i loro ambienti semplicemente con pannelli fonoassorbenti piramidali, o similari.

Quello che ne consegue è che **queste sale sono particolarmente colorate in frequenza**, ottenendo il contrario di quello che si richiede ad uno spazio del genere, ossia la **neutralità**.

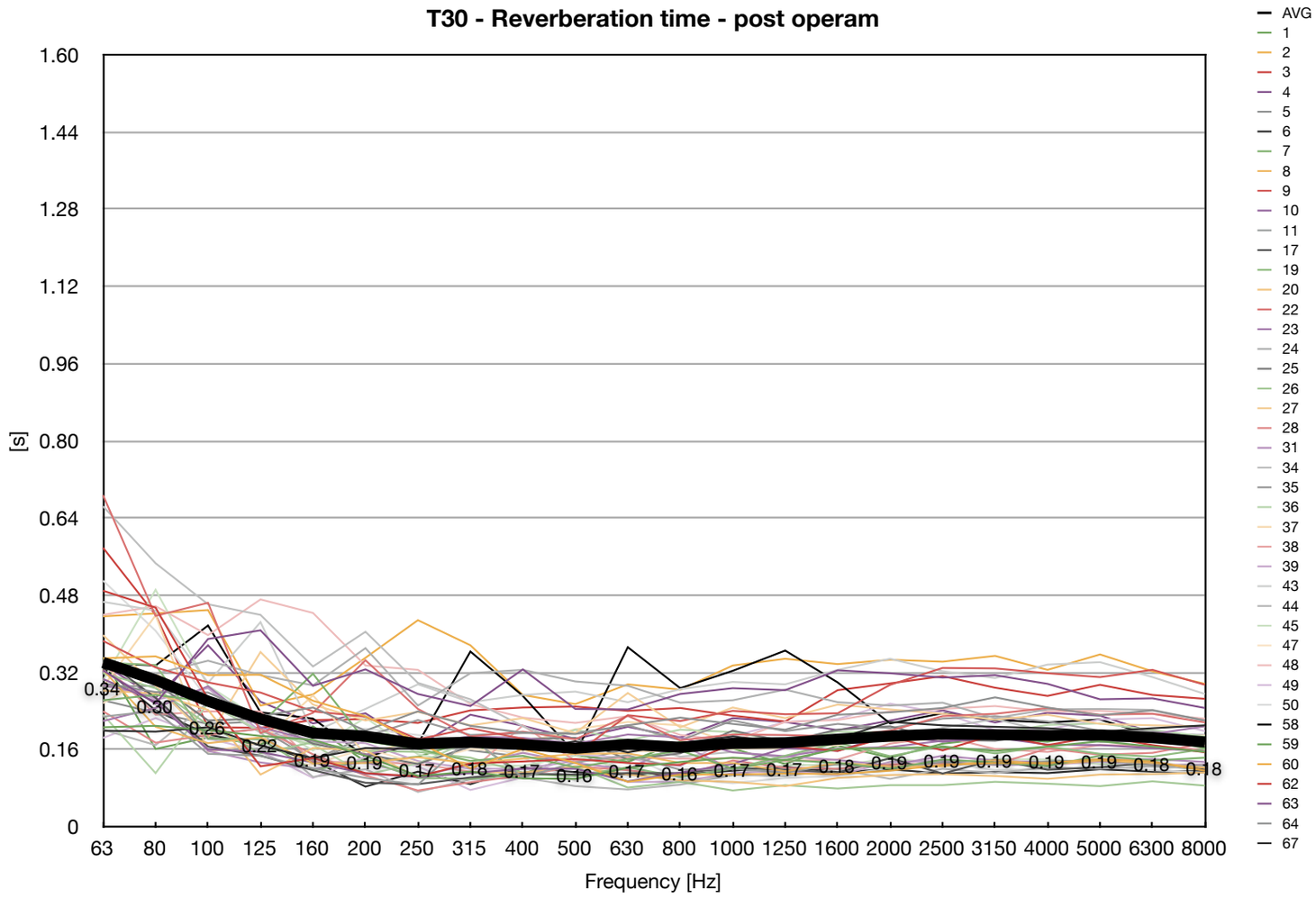
Tempi di Riverberazione

Ante operam vs post operam





- Come si vede dal grafico dei tempi di riverberazione ante-operam (fig. 1), il livello medio è sopra il valore ottimale, considerando che le sale analizzate hanno un volume medio di circa 60 m^3, ma il dato più importante è che la **varianza** dei valori è molto elevata, soprattutto nel range delle basse frequenze.



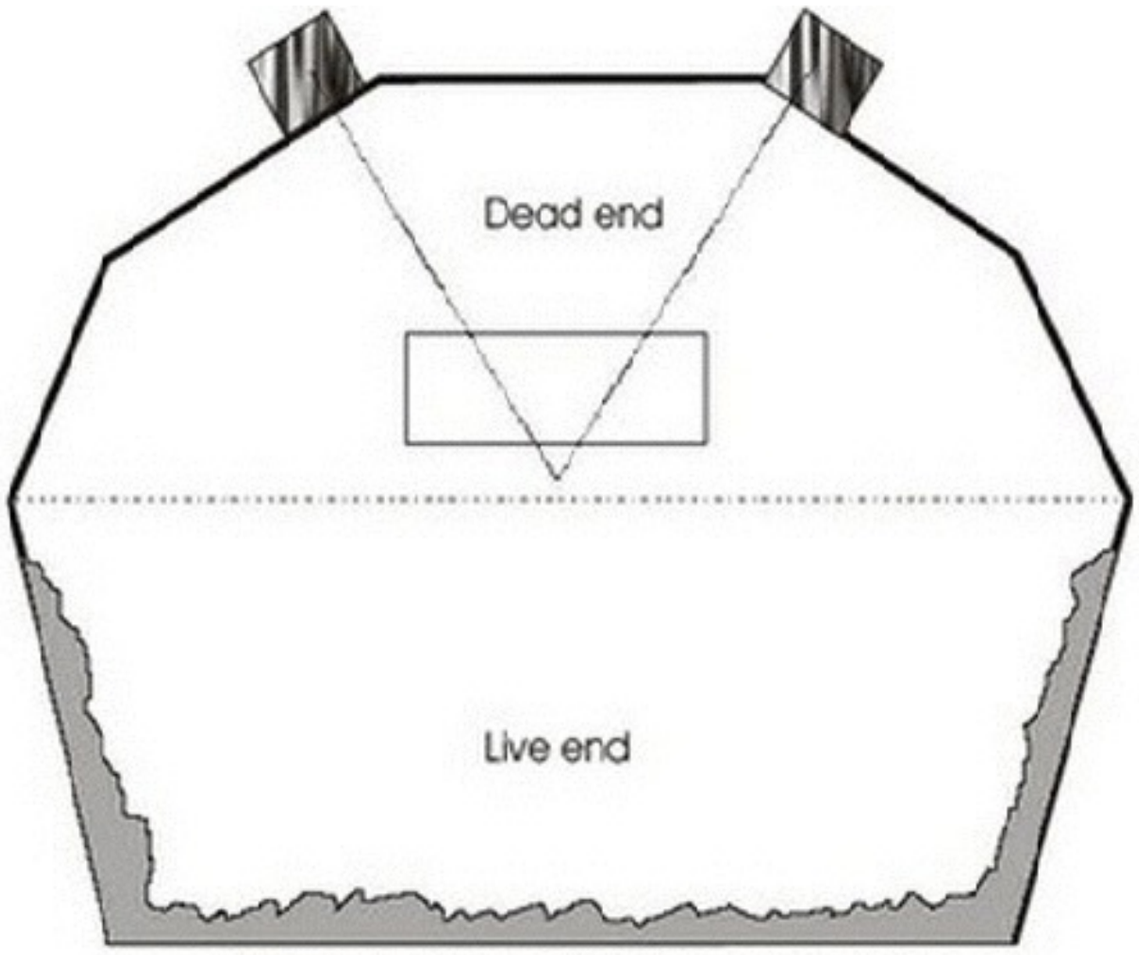
Nel grafico dei tempi di riverberazione post-operam si nota che:

- vi è un abbattimento sostanziale dei tempi, soprattutto quelli a bassa frequenza;
- il valor medio @ 63 Hz è 2 volte circa il valore @ 500 Hz, mentre prima era 3 volte;
- la varianza dei valori è notevolmente ridotta, rimangono fisiologiche discrepanze (leggere) tra studi di dimensione differente;
- non ci sono studi con tempi di riverberazione superiori a 0.65 s @ 63 Hz.

Control room design

- LEDE (Live End Dead End)
- RFZ (Reflection Free Zone)
- **Non-Environment**

Control room design: LEDE (1979)



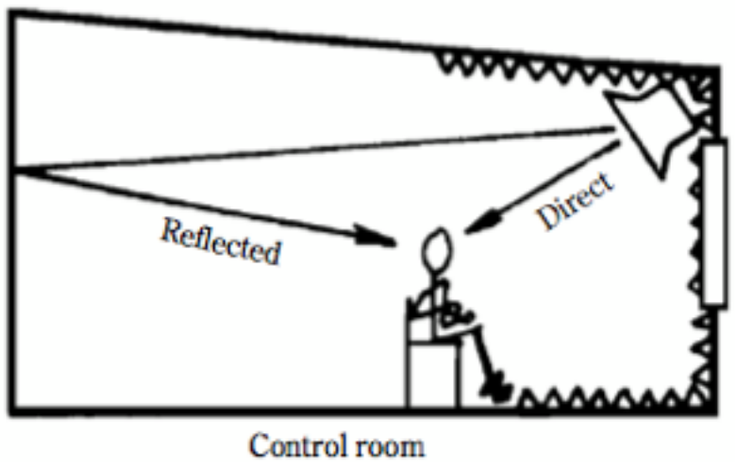
Plano de una sala "Live end Dead end"

LEDE, Live End Dead End: l'idea era di fare un fronte molto assorbente (Dead End) con riduzione al minimo delle riflessioni e un retro vivo, con diffusione delle riflessioni (Live End). Si introduce il diffusore di Schroeder sul retro (QRD – Skyline).

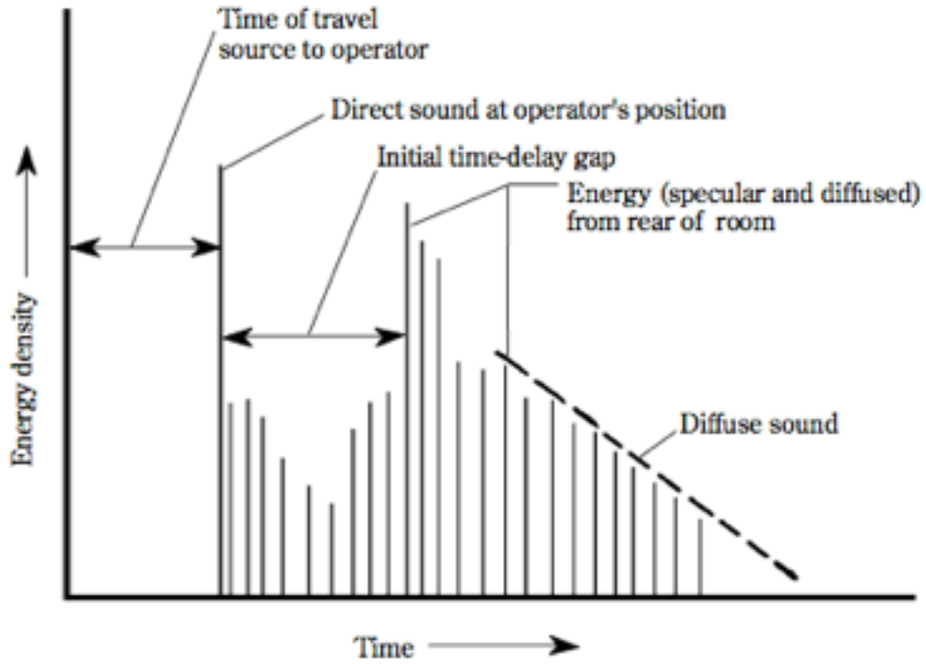
La teoria psicoacustica del LEDE è una delle più dibattute.

Control room design: LEDE (1979)

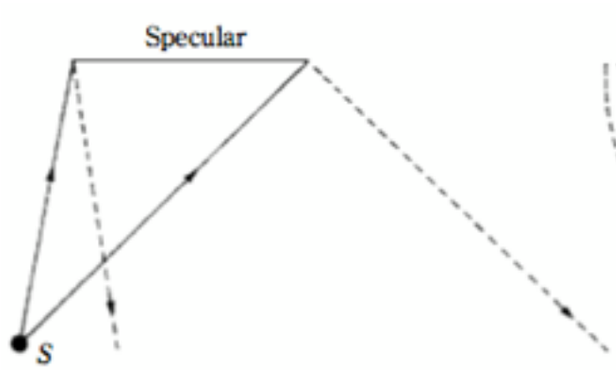
Lo scopo era quello di attenuare al massimo le prime riflessioni provenienti dalla parte frontale della sala. In questo modo, il suono che proviene dalle casse monitor non viene colorato dalle riflessioni.

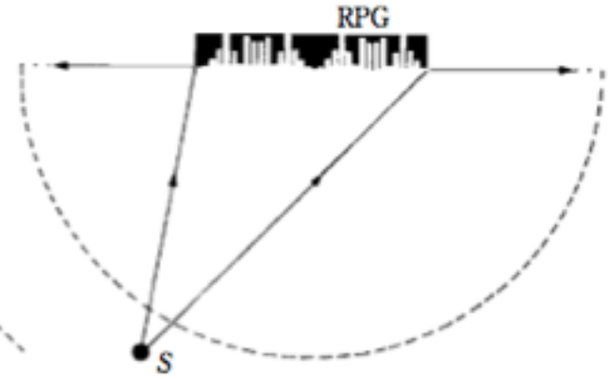


Control room



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

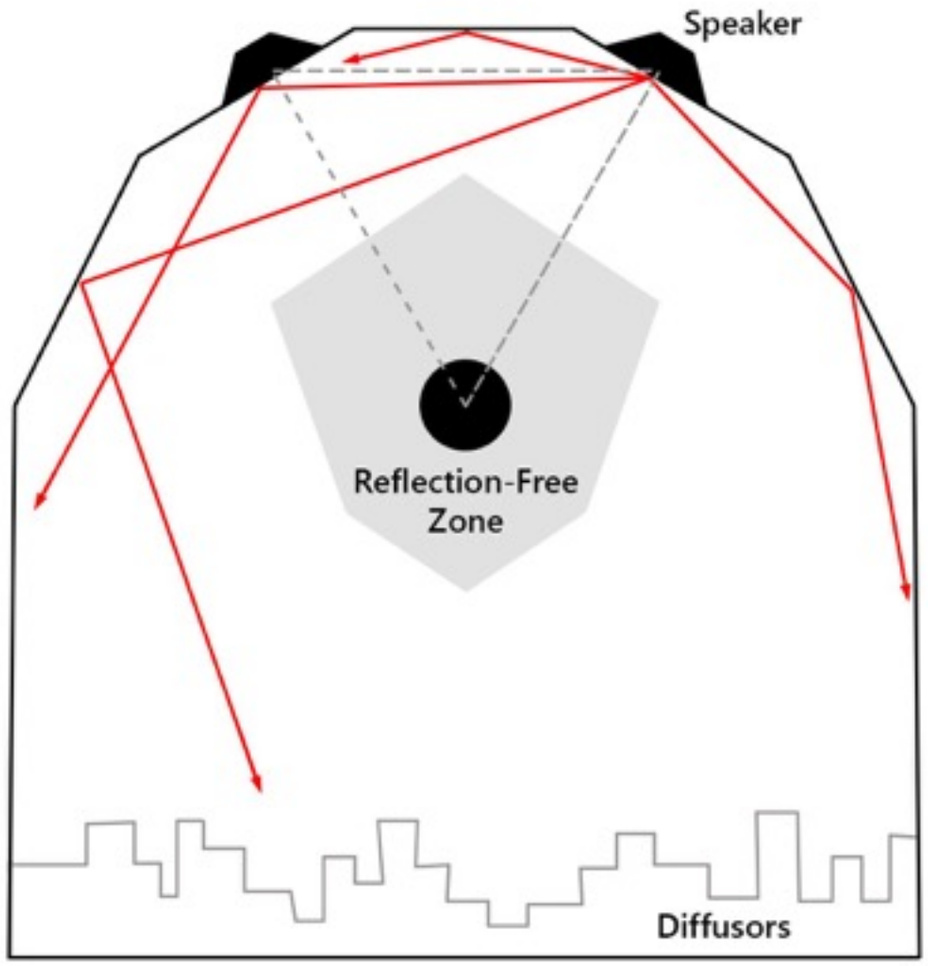




Control room design: LEDE (1979)

La ragione più importante per cui il LEDE è stato accantonato è il fatto che se mettiamo molto assorbimento sul fronte, le casse saranno lontane dalla parete rigida e ciò comporterà la creazione di riflessioni dal fronte che arrivano sfasate rispetto al suono diretto (con perdite alle basse frequenze).

Control room design: RFZ (1984)



RFZ, Reflection Free Zone: partendo dal principio LEDE, è considerato un'estensione di questo.

Si basa su principi puramente geometrici: l'idea è quella di modificare l'inclinazione del soffitto e del muro frontale in modo da formare una zona senza prime riflessioni attorno all'area d'ascolto.

L'approccio è valido per le alte frequenze scendendo fino a 500 Hz.

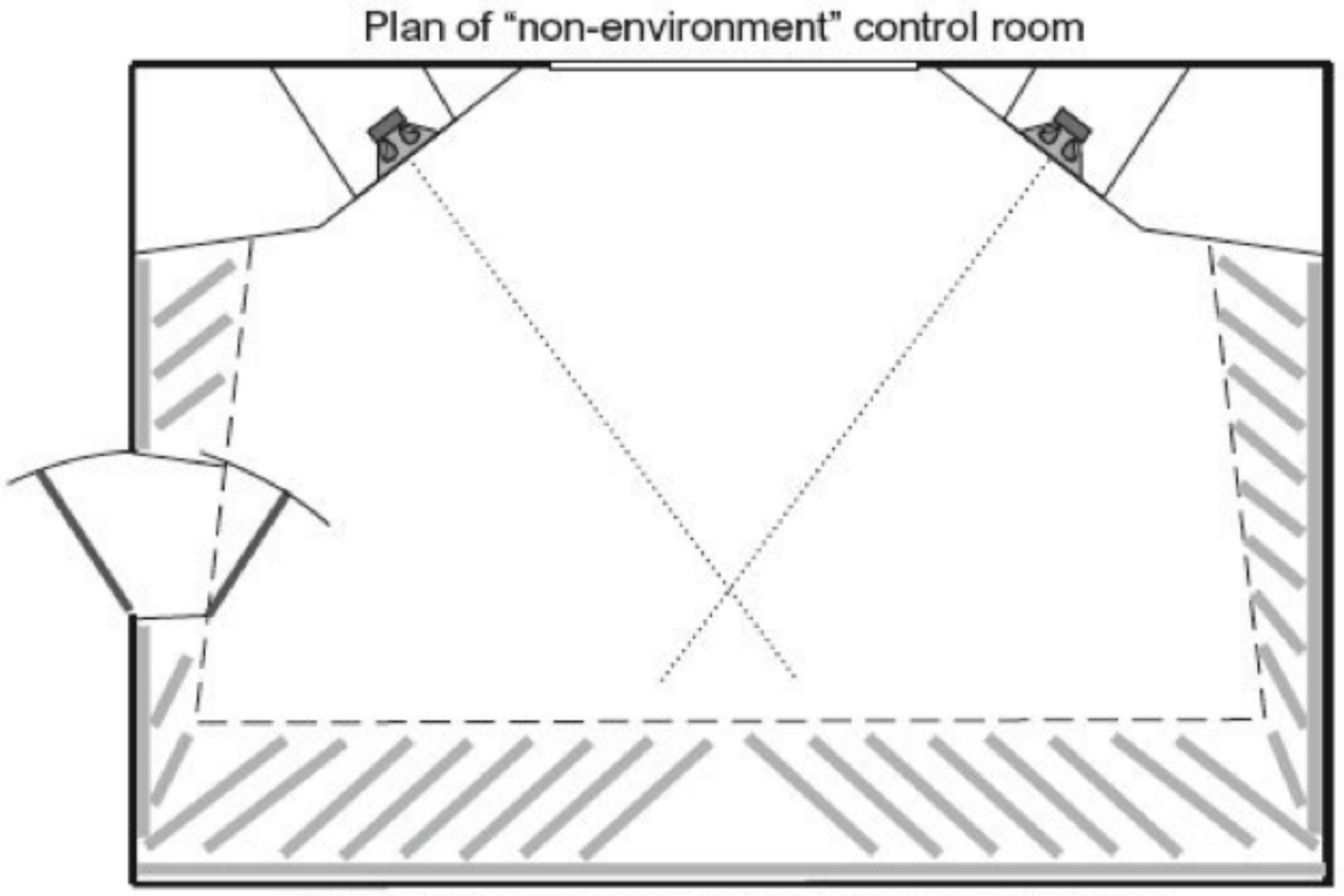
Control room design: Non-environment (1991)

Tutt'oggi lo stato dell'arte.

L'idea è di avere soltanto 2 pareti riflettenti: il fronte e il pavimento. Le altre pareti sono più assorbenti possibili, con assorbitori a larga banda che scendono molto in basso (bass-trap baffles etc.). Si richiede un tempo di riverberazione più asciutto (0.2 s).

Ad oggi è utilizzata normalmente per gli studi di medio-grande dimensione.
Elementi di diffusione per medio alte frequenze sul retro e sul lato restituiscono un po' di riflessioni e una sensazione più naturale d'ascolto.
Questa, con le sue varianti, è considerata la tecnica più efficace.

Control room design: Non-environment (1991)



Sale di ripresa

- Neutral rooms
- Sale di medie dimensioni
- Sale grandi (orchestrali)

Neutral room

Strumenti:

Amplificatori: basso, chitarra, etc

Strumenti singoli acustici

Strumenti singoli elettrici

voci: voci singole cantate e parlate (anche doppiaggi con acustica variabile), cori, ensemble di voci

RT60:

0.10 ÷ 0.25 s

Altre caratteristiche:

suono “dead” ma neutro

brillantezza del suono

diffusione del suono

controllo delle basse

minimizzati i flutter-echo

prime riflessioni

House of Glass @ Viareggio (LU)

Studio Volta @ Montemurlo (PO)

Studio Volta @ Montemurlo (PO)

Officina Sonora del Bigallo @ Bagno a Ripoli (FI)

Sale di media dimensione

Strumenti:

ensemble rock: basso, chitarra, batteria, tastiere, voce

ensemble jazz: contrabbasso, batteria, pianoforte, fiati, voce

piccole orchestre: quartetti d'archi, piccoli ensemble di fiati e archi

voci: voci singole cantate e parlate (anche doppiaggi con acustica variabile), cori, ensemble di voci

RT60:

0.2 ÷ 0.5 s

Altre caratteristiche:

brillantezza del suono

diffusione del suono

controllo delle basse

acustica variabile con pannelli girevoli/spostabili

minimizzati i flutter-echo prime riflessioni

Audacia Records @ Avezzano (AQ)

House of Glass (Gianni Bini) @ Viareggio (LU)

Tube Studio @ Fiano Romano (RM)

Studio Volta @ Montemurlo (PO)

Officina Sonora del Bigallo @ Bagno a Ripoli (FI)

Sale grandi (orchestrali)

Strumenti:

piccole e grandi orchestre

ensamble rock: basso, chitarra, batteria, tastiere, voce

ensamble jazz: contrabbasso, batteria, pianoforte, fiati, voce

voci: voci singole cantate (con ambiente), cori, ensamble di voci

RT60:

0.6 ÷ 1.1 s

Altre caratteristiche:

grande spazialità

diffusione del suono

brillantezza del suono

acustica variabile con pannelli girevoli/spostabili

colorazione del riverbero tipica da sala a sala

International Sound @ Conversano (BA)

International Sound @ Conversano (BA)

International Sound @ Conversano (BA)

Sudestudio @ Guagnano (LE)

Sudestudio @ Guagnano (LE)

V Posizionamento delle casse

Comitati tecnici per standardizzare specifiche:

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

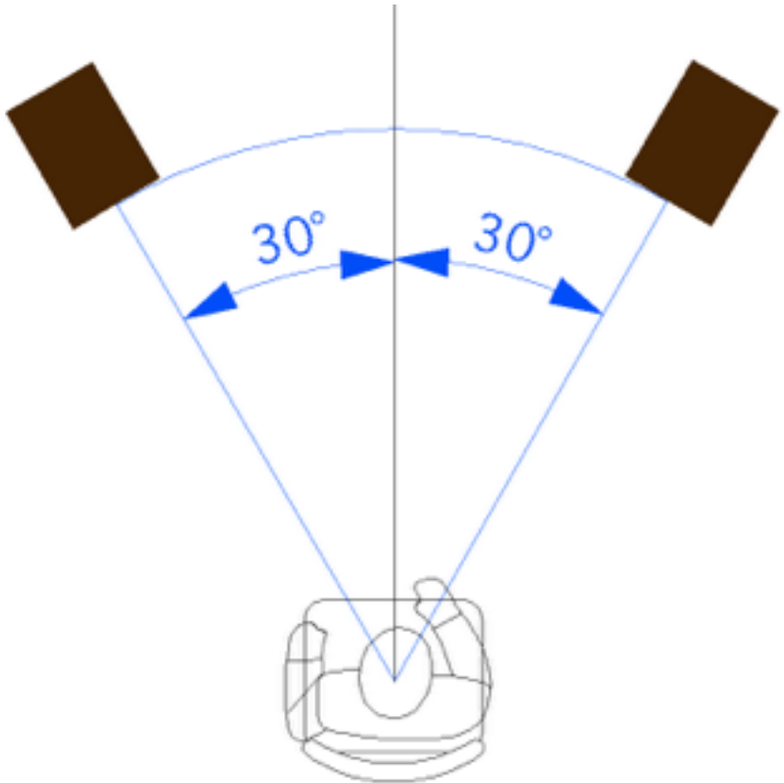
Raccomandazioni per la riproduzione surround:

GITU-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

Qual è il migliore angolo per posizionare due altoparlanti riproducenti materiale stereo?



Per riprodurre un centro mono virtuale l'angolazione migliore è 60°

Posizionamento sul piano verticale

Il nostro cervello ha 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.

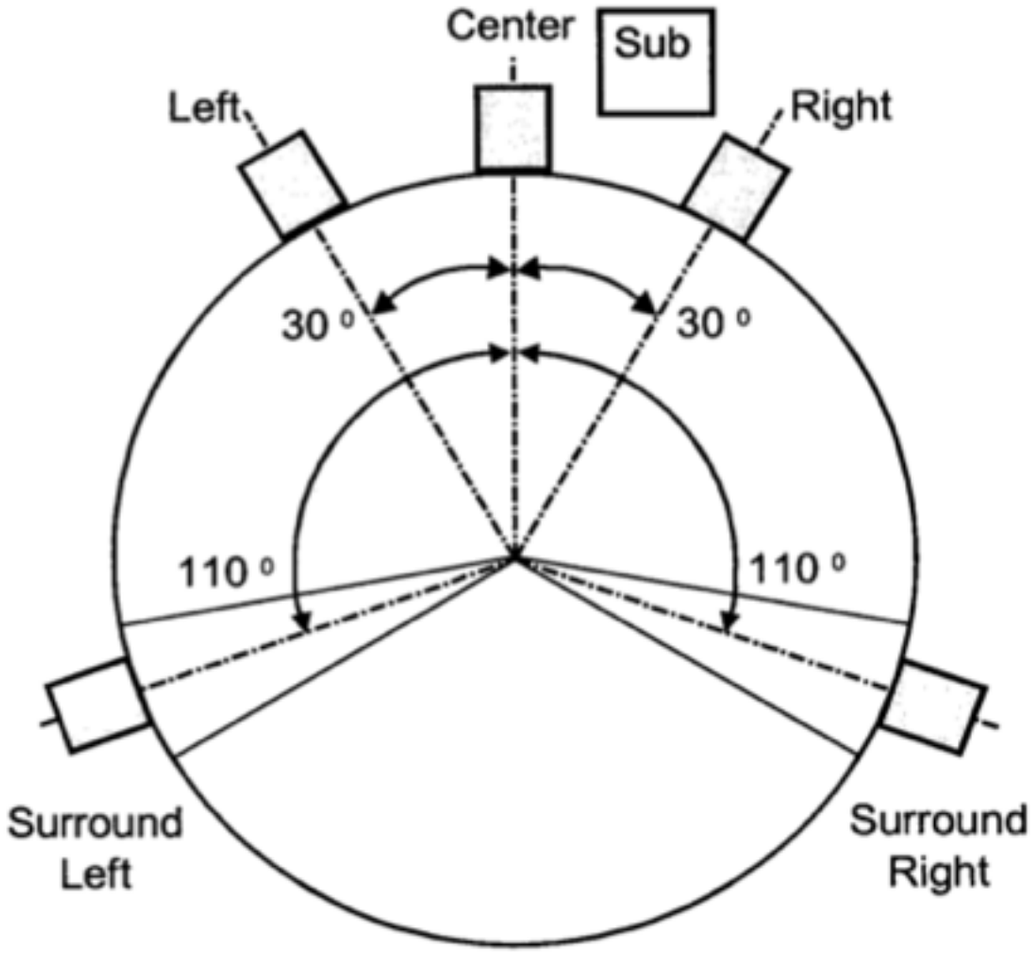
Posizionamento sul piano verticale

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

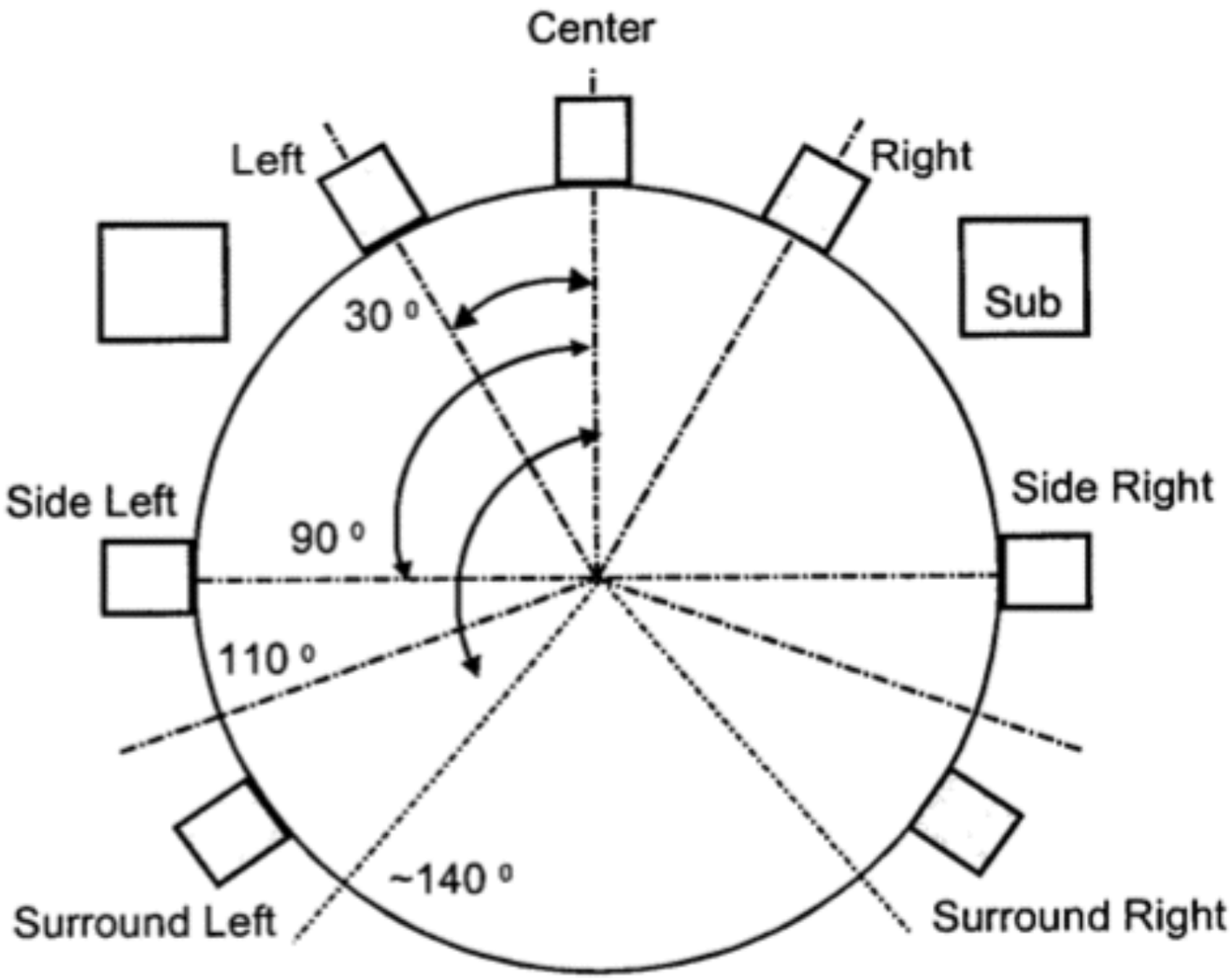
Più grandi sono i monitor, più lontano dal pavimento devono essere collocati: viene comunemente impiegata una sovra altezza massima di 15÷20° rispetto alle orecchie nelle installazioni stereo.

Multi canale 5.1

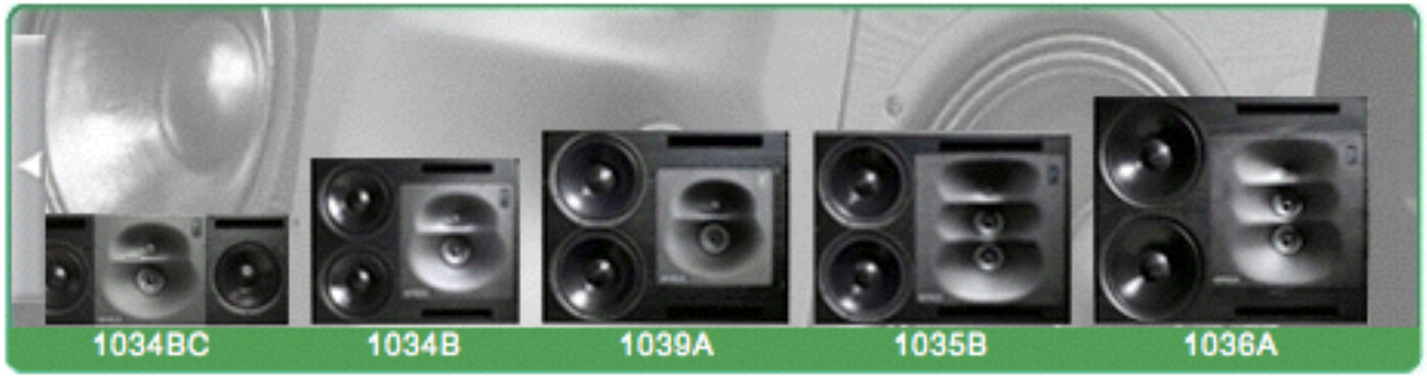
Gli altoparlanti devono essere collocati sui luoghi di un cerchio ideale che ha al centro la testa del fonico.



Multi canale 7.1



Posizionamento main-monitors



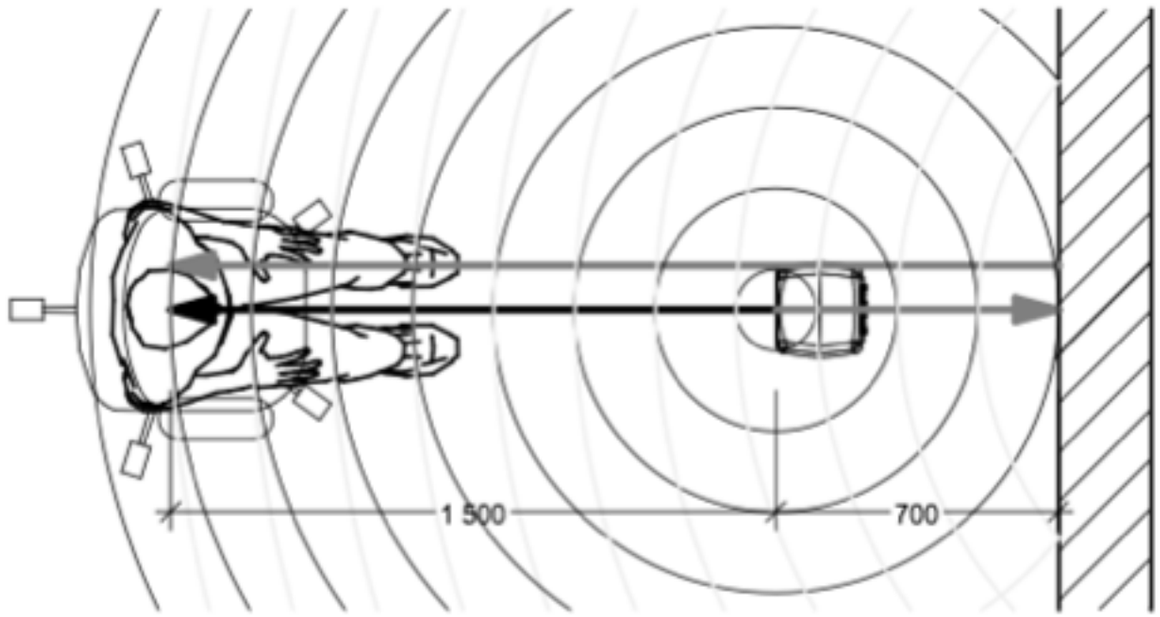
- devono essere montati a filo-parete per raggiungere la migliore prestazione

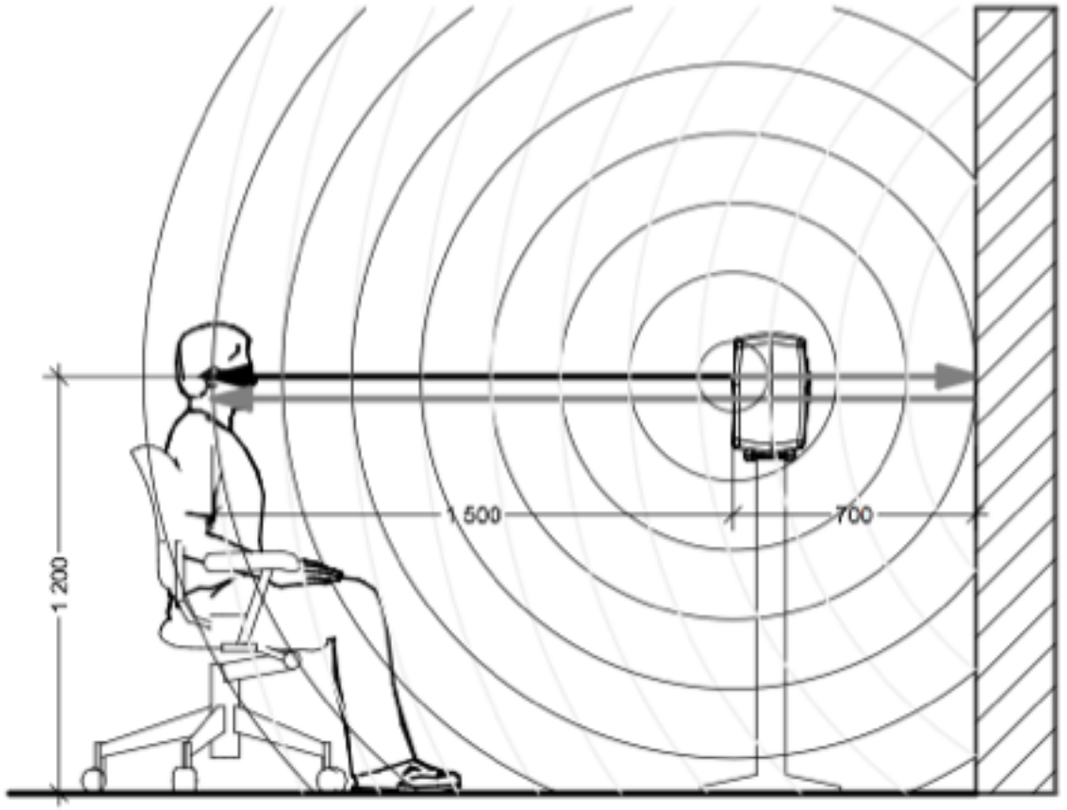
- se non fosse possibile, dovranno essere collocati a ridosso di una superficie onde evitare cancellazioni a basse frequenze, ma per i monitor più grandi non è possibile perché la profondità della cassa è abbastanza grande da porre l'altoparlante ad una distanza tale da produrre cancellazioni alle basse

Posizionamento near-fields 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!

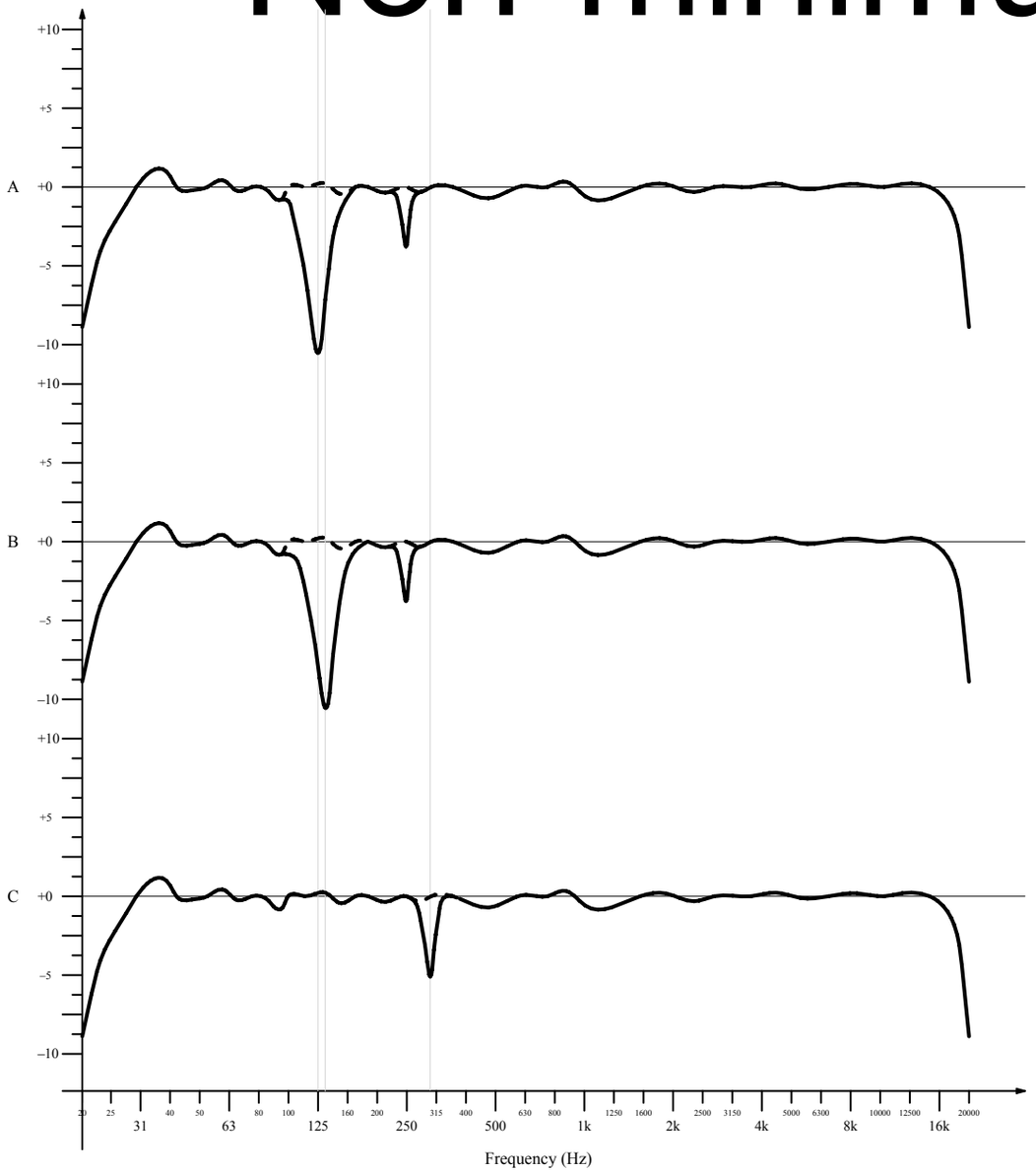
Minimum and non-minimum phase

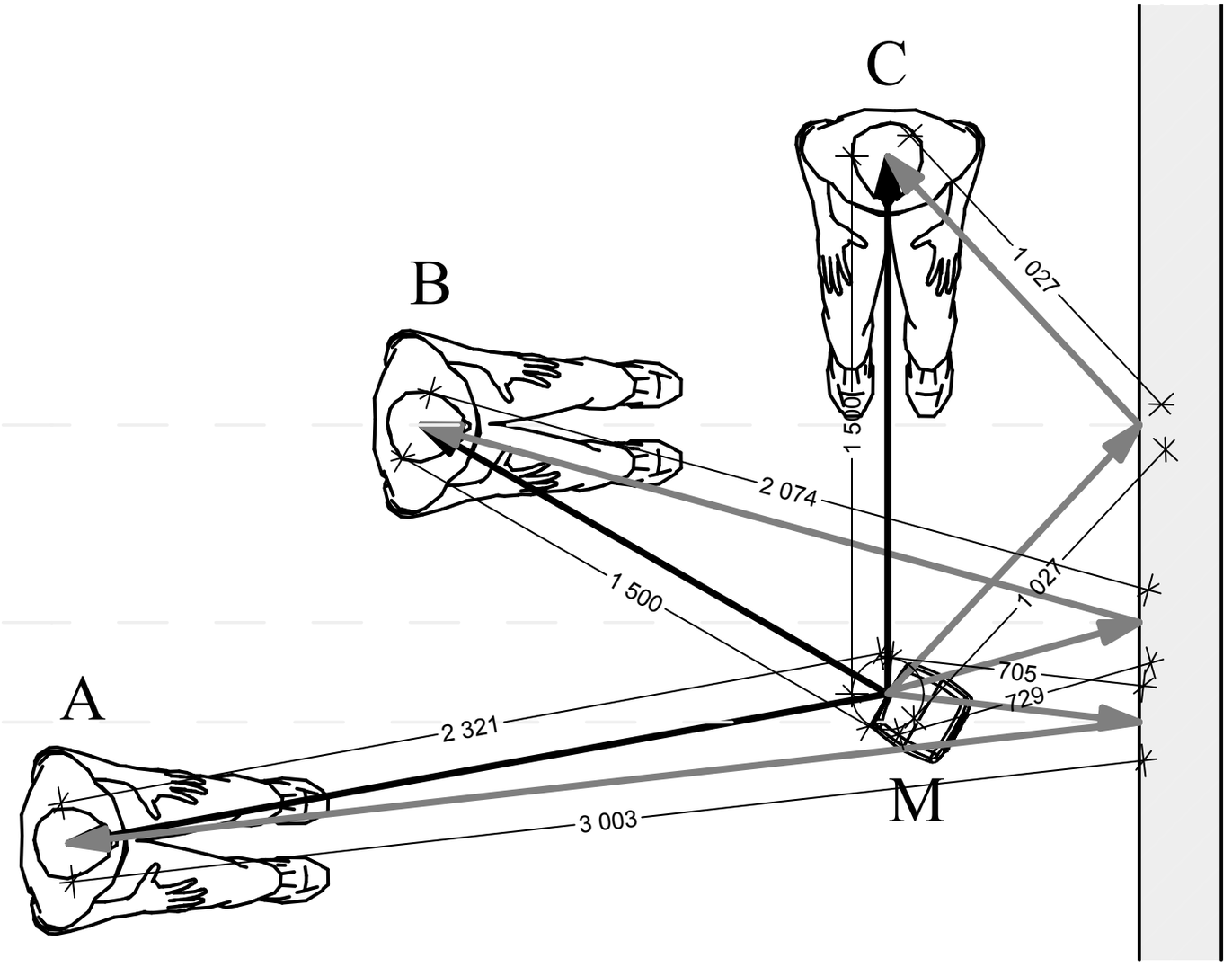




Le interazioni tra suono diretto e riflesso generano cancellazioni a precise frequenze

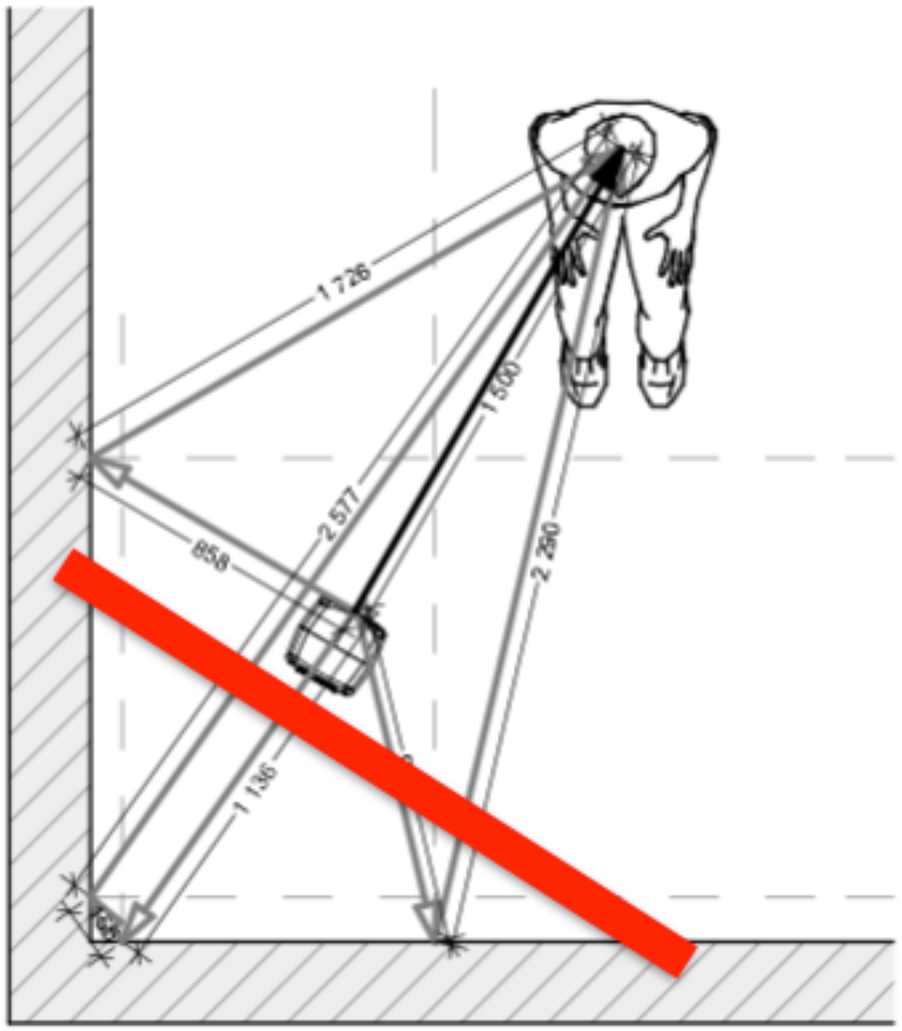
Non-minimum phase effects



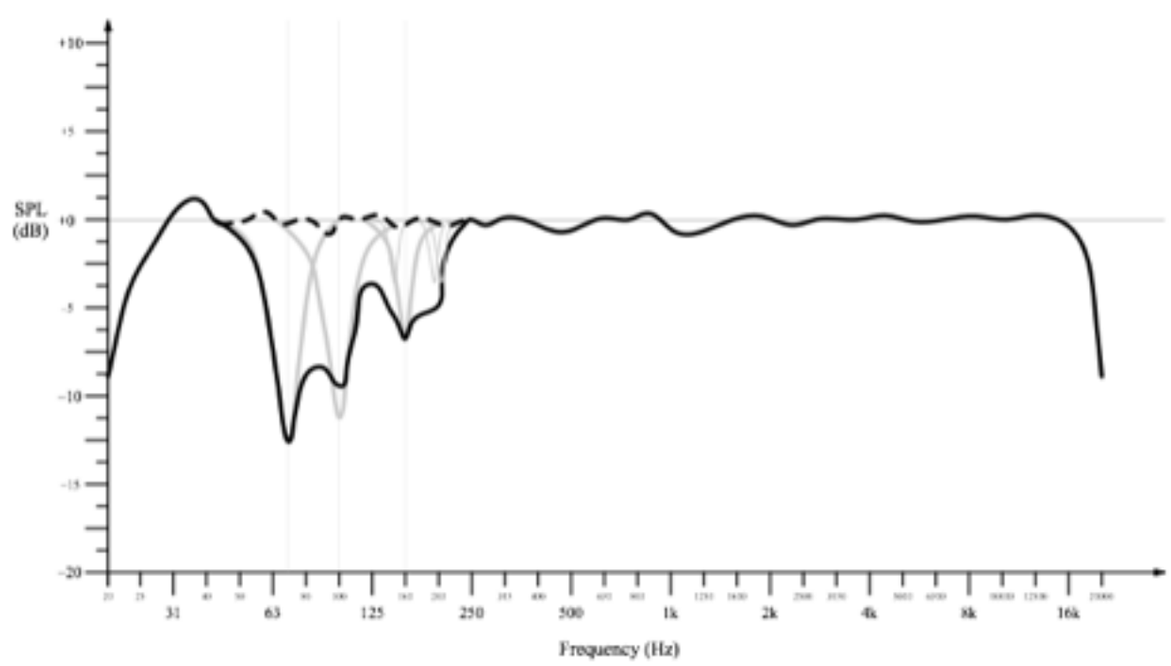


La cancellazione non è singola e, soprattutto, cambia in frequenza in base a dove si trova il punto d'ascolto.

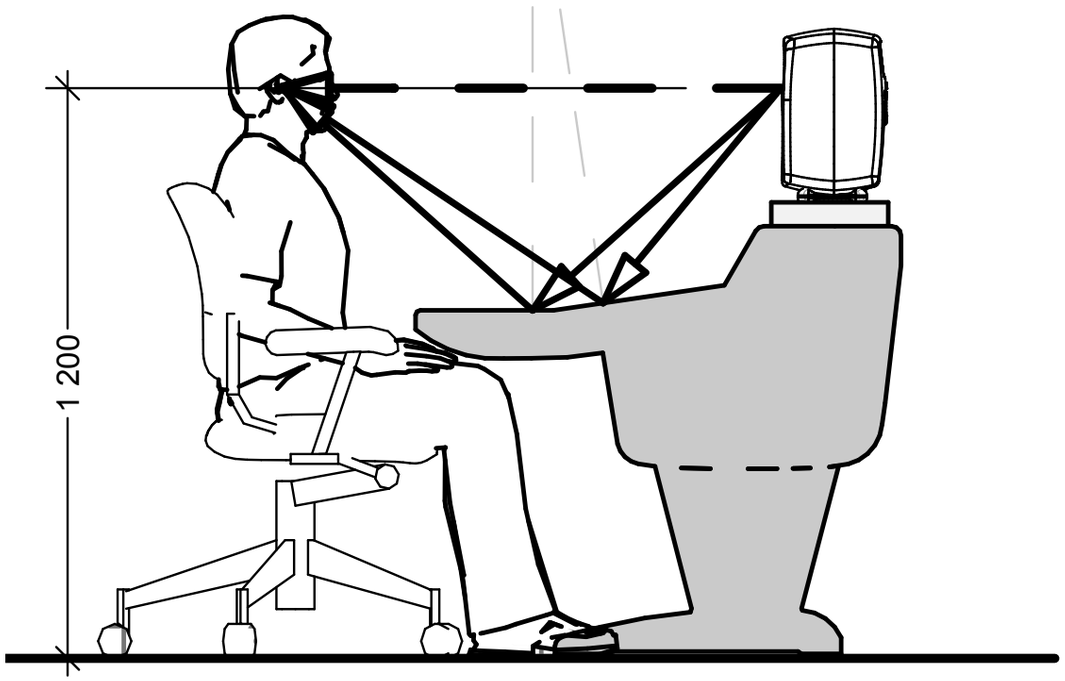
Interazione con gli spigoli

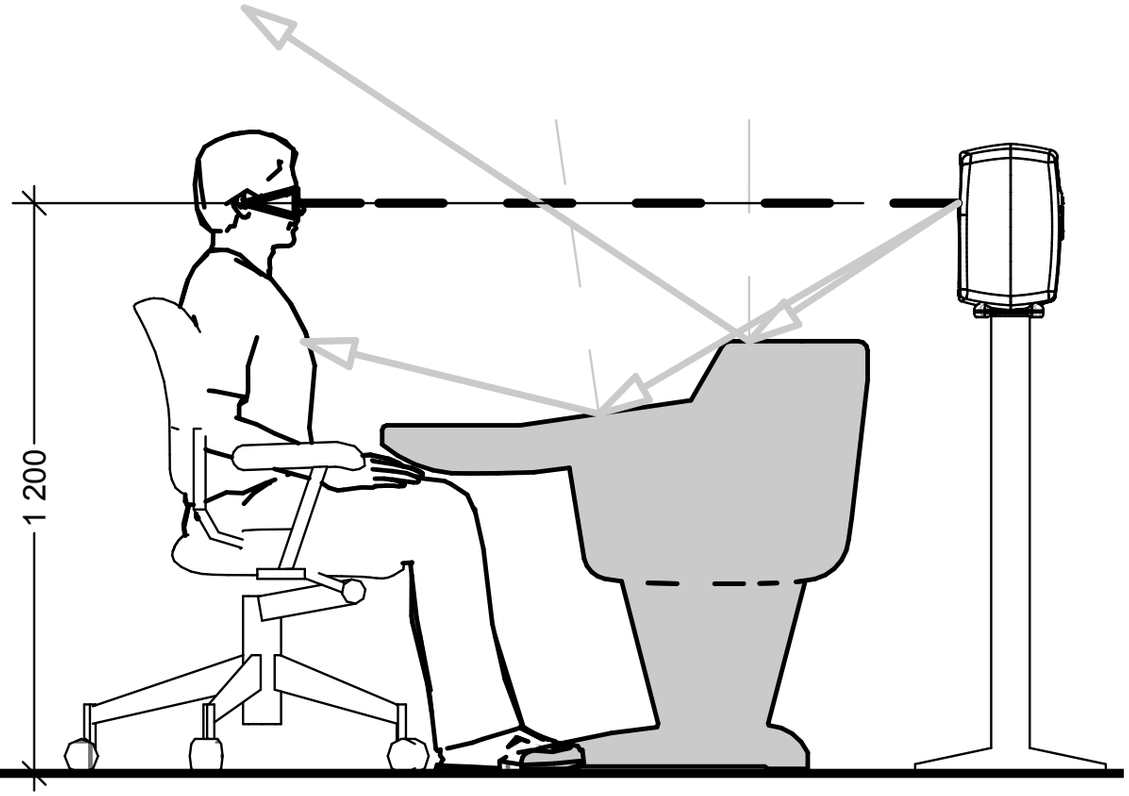


Quando posizioniamo un altoparlante a una certa distanza da un angolo (in questo caso un angolo di 90 gradi) abbiamo almeno tre “buche” che interagiscono tra loro e generano un enorme calo nella risposta in frequenza.



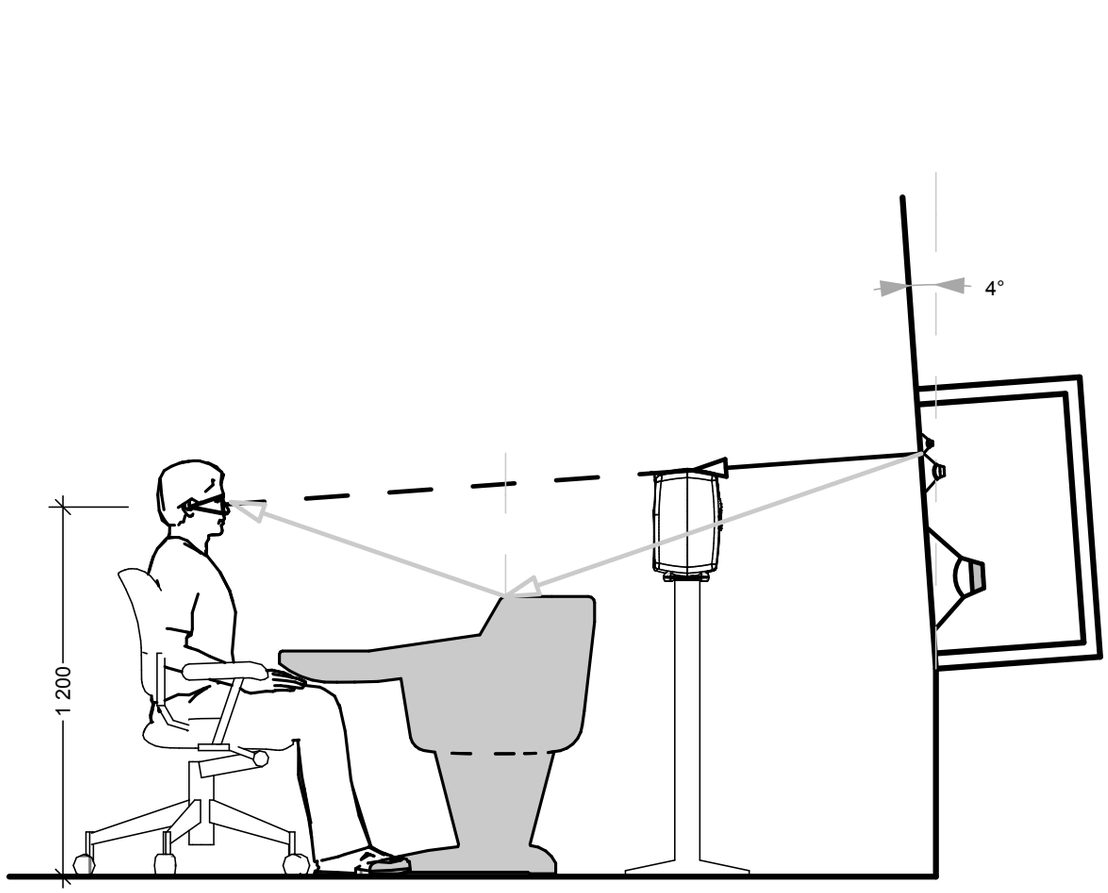
Riflessioni della console

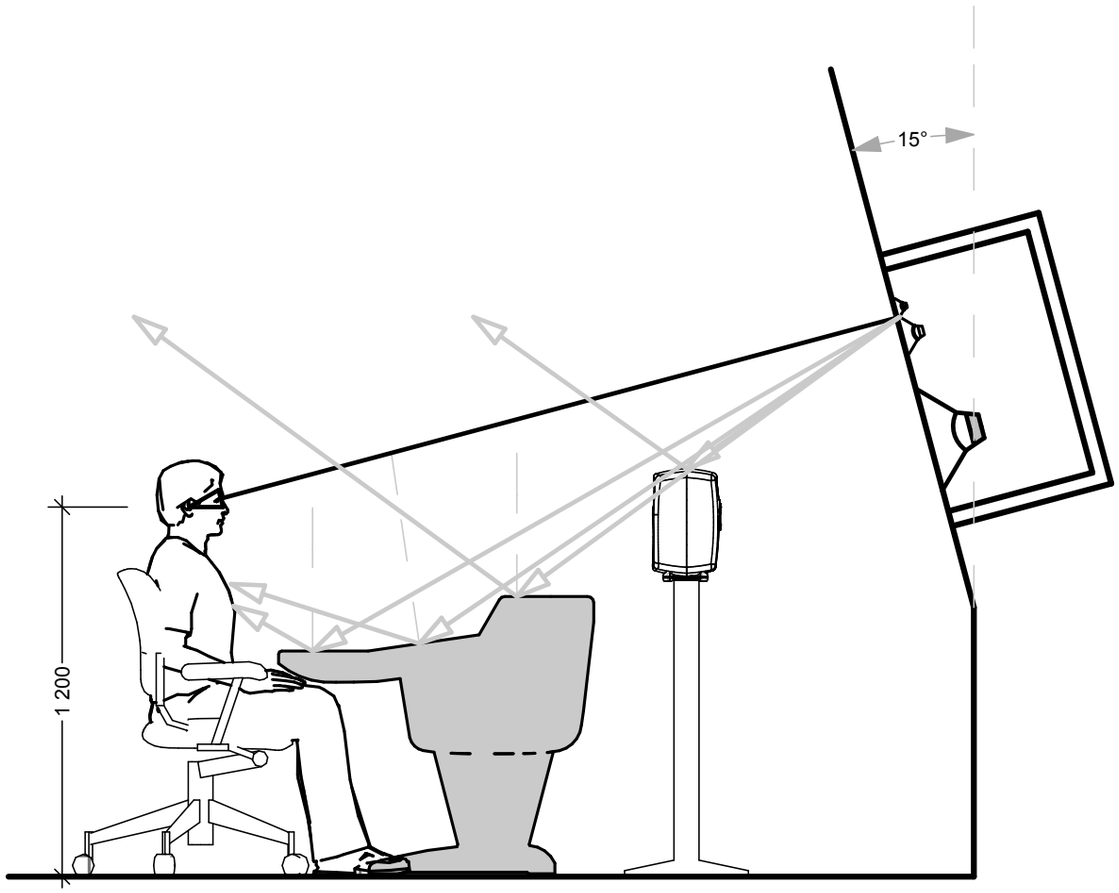




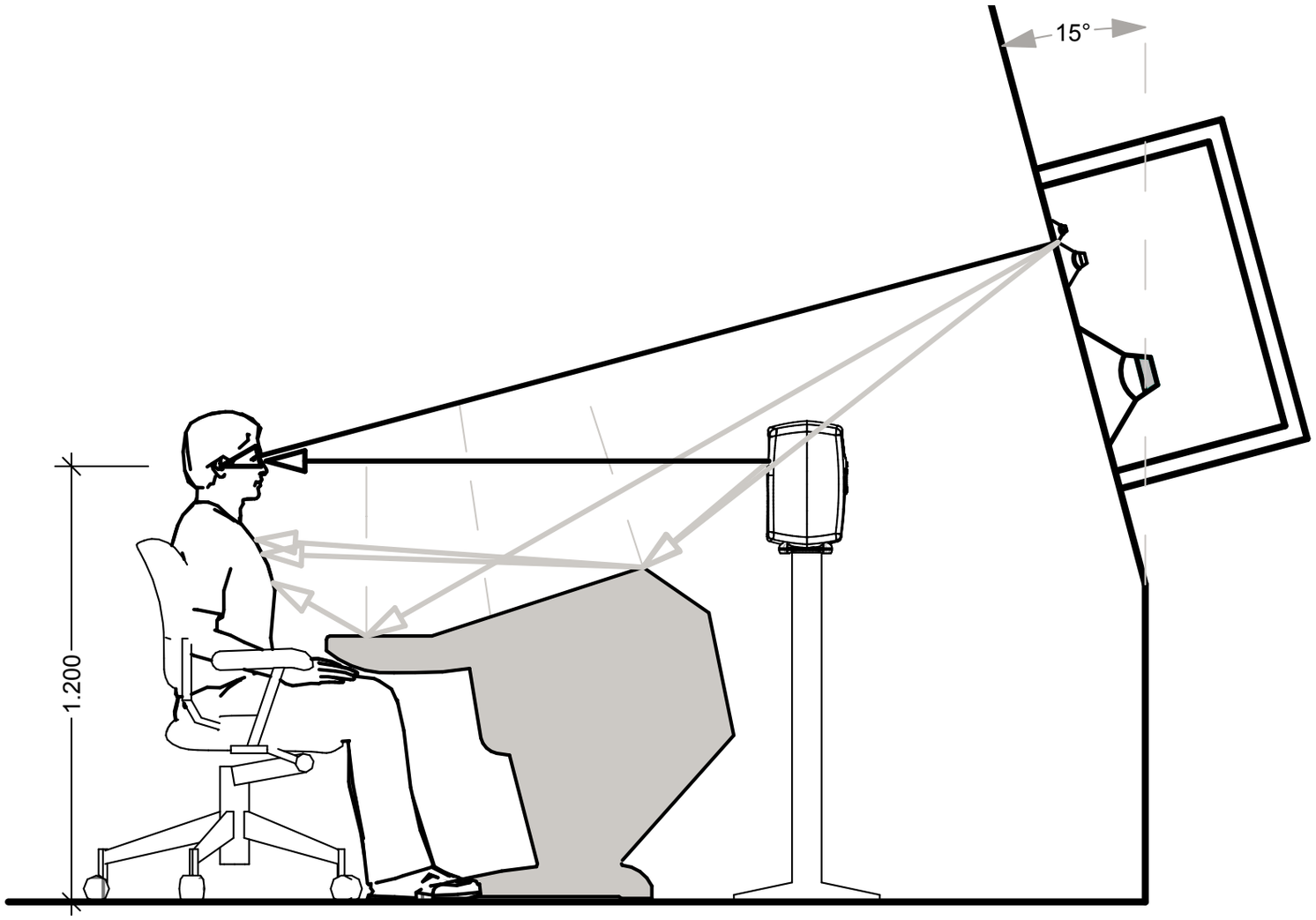
Riflessioni della console

Big Monitors and nearfields



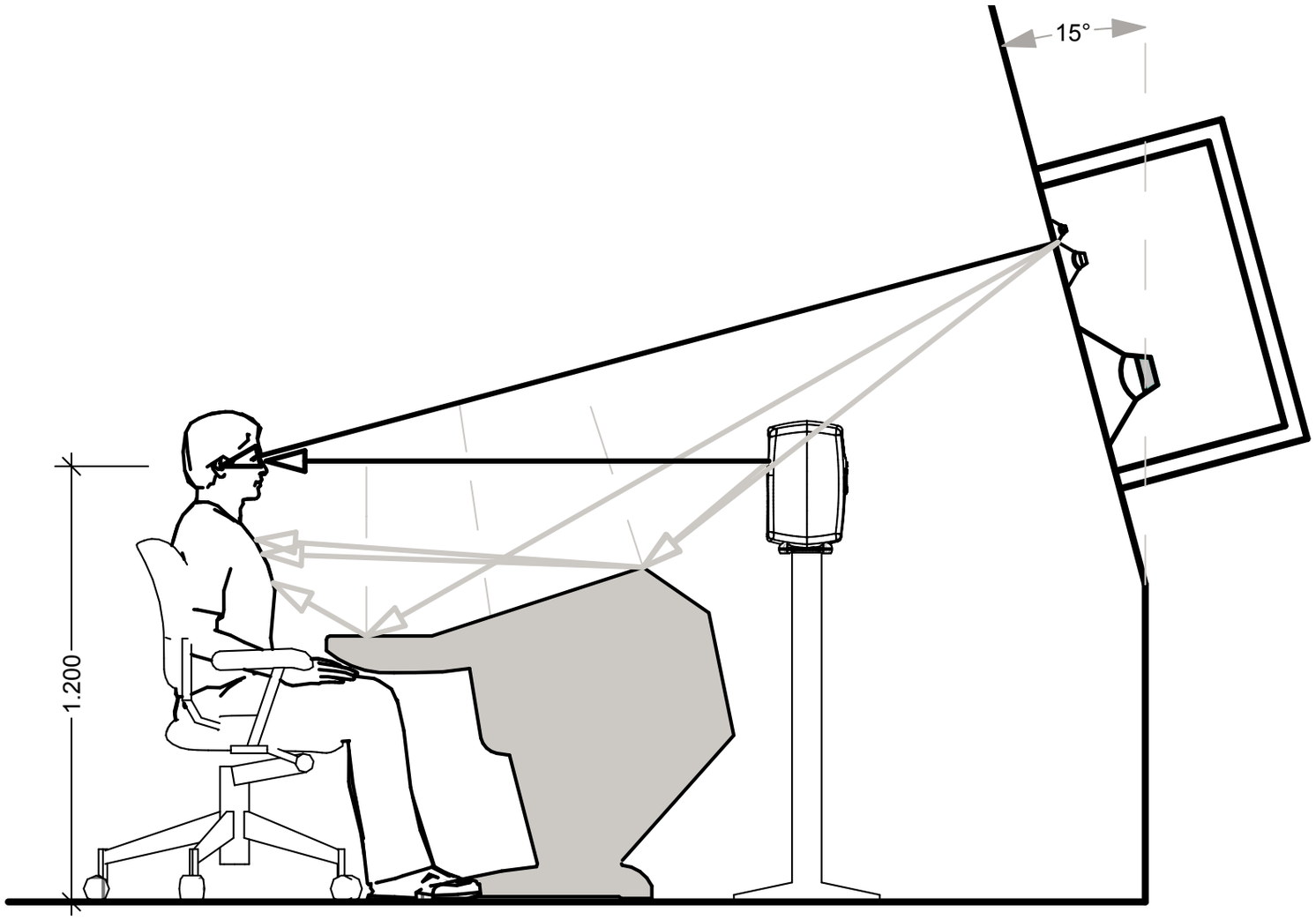


Controllare le riflessioni dalla console



Controllare le riflessioni dalla console

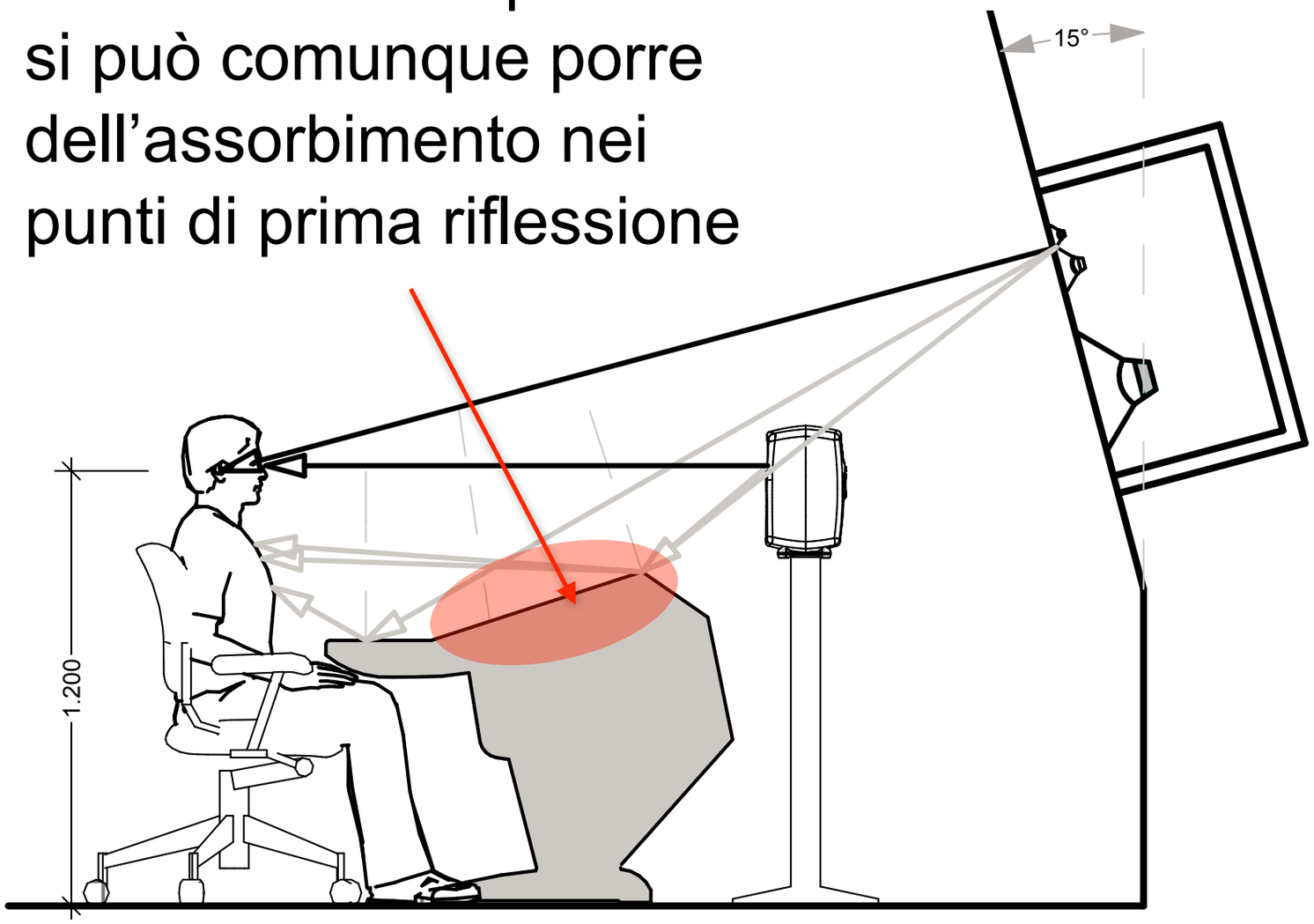
Inclinare la console è sempre una cosa positiva per l'acustica e l'ergonomia…



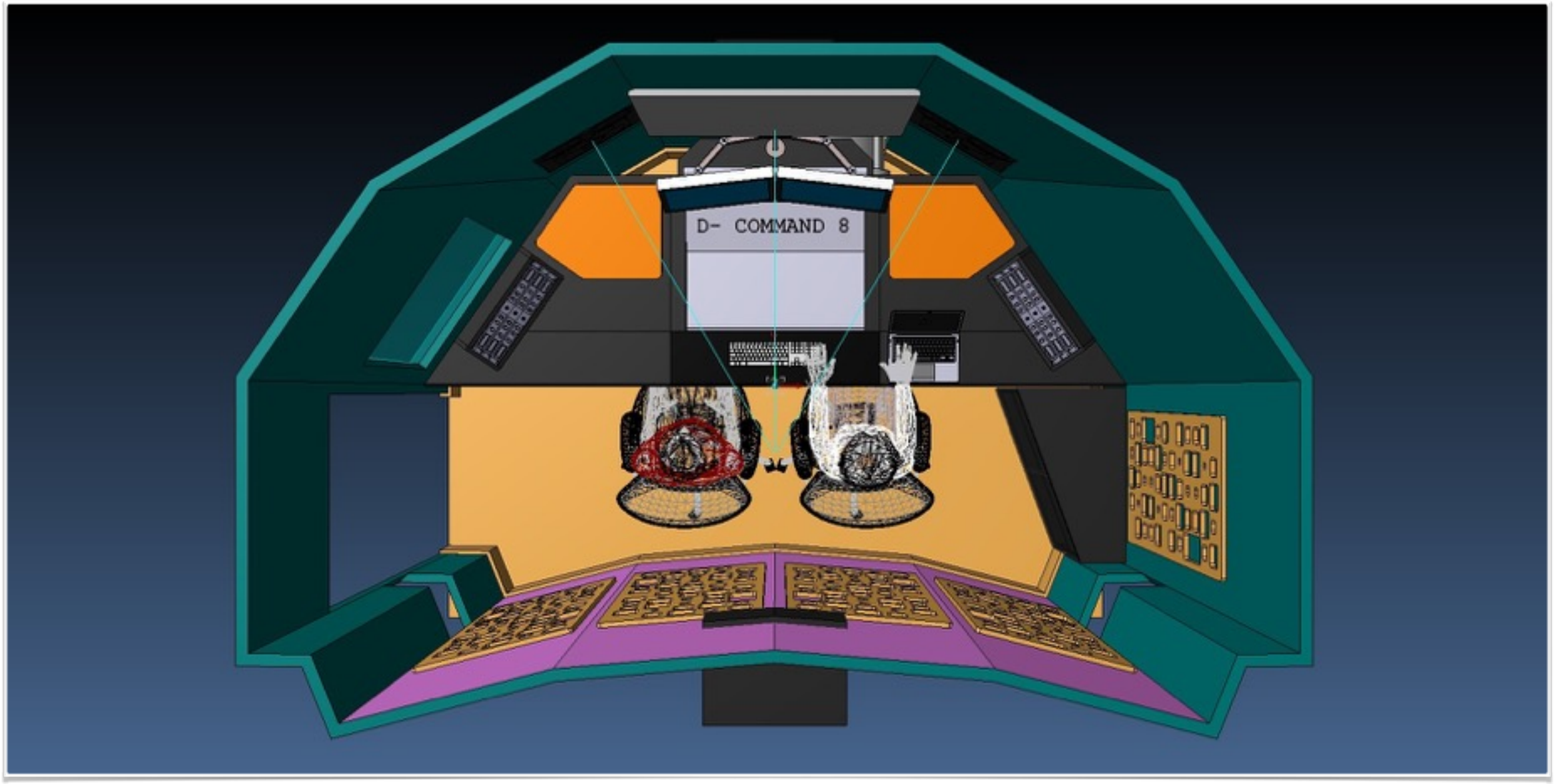
Controllare le riflessioni dalla console

Inclinare la console è sempre una cosa positiva per l'acustica e l'ergonomia…

… ma se non si può fare si può comunque porre dell'assorbimento nei punti di prima riflessione



Controllare le riflessioni dalla console



Controllare le riflessioni dalla console

… ma se non si può fare si può comunque porre dell’assorbimento nei punti di prima riflessione

Posizionamento del subwoofer

- posizionato vicino alla parete frontale e leggermente spostato dalla mezzeria della stanza onde evitare il punto di minima pressione

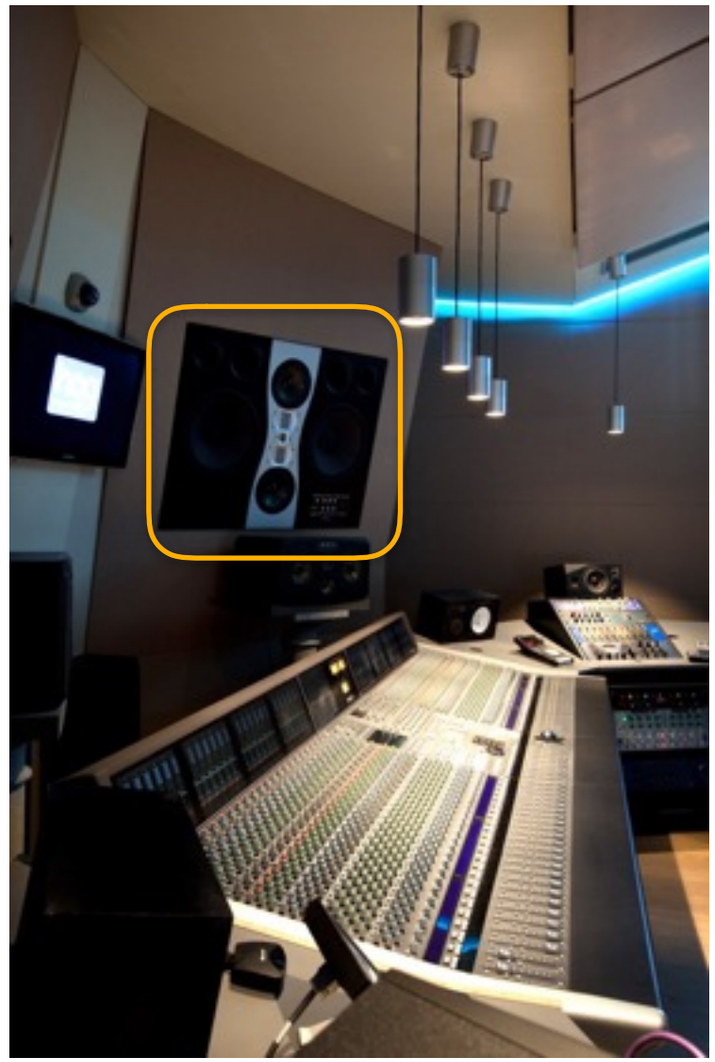
- in un angolo vicino alla parete frontale e ad una laterale. Questa posizione massimizza l'efficienza per il carico angolare.

Loudspeakers in a room

Maledetti big monitor flush-mounted!

I Big monitor o in generale le casse grosse incassati a muro hanno realmente qualche pro?!?

In realtà, dal punto di vista tecnico, i design più utilizzati per gli studi di registrazione (*Non-Environment, LEDE, RFZ*) non solo li prevedono, ma basano tutta la loro teoria su questi, e soprattutto sul loro montaggio (*flush-mount*), mentre per i nearfield e i monitor free-standing in generale si accettano numerosi compromessi.



Per questo motivo, sono giunto alla conclusione (!) che molti dei fonici scontenti dei big monitor lo siano soltanto perché sono ormai **abituati** a lavorare soltanto con nearfield posizionati al massimo a 1.70 m dalla loro posizione d'ascolto oppure perché sono stati "scottati" dall'ascolto di big monitor non ben montati e posizionati, e questo, purtroppo, succede più spesso di quanto si pensi.

perché si odiano i Big Monitor?

Maledetti big monitor flush-mounted!

1. motivo storico o generazionale?
   - I fonici più giovani cresciuti nel proprio home-studio (che non ha un sistema d'ascolto con molti compromessi) non sentono il bisogno di cambiare il loro modo di lavorare.
   - I big monitor degli anni 70' e 80' non potevano essere fedeli a basse pressioni sonore, quindi molti fonici preferivano usare dei monitor più piccoli che riuscissero a farli lavorare senza affaticarsi per più ore di seguito. Questo potrebbe essere stato il motivo per cui i nearfield presero piede, poi le stanze divennero sempre più piccole e in molti casi erano l'unica soluzione.

Ora questo problema non esiste più perché i big monitor (o almeno i migliori) sono sicuramente molto fedeli anche a basse pressioni sonore.

In più, per rendere fullrange un sistema con near-field, si deve obbligatoriamente aggiungere un sub-woofer: è molto interessante vedere come molti fonici odino questa configurazione, e in molti casi mi sento di dargli ragione, perché se la fase e il livello del sub non sono calibrati perfettamente rispetto al resto del sistema, è sicuramente meglio non avere il sub!

perché si odiano i Big Monitor?

Maledetti big monitor flush-mounted!

2. motivo più tecnico?
   - una cassa che si spinge più in basso in frequenza, è sicuramente più difficile da gestire.

Per me è veramente molto difficile, per non dire impossibile, avere un ascolto soddisfacente con i big monitor senza che siano montati in modo corretto a muro (con flush-mount).

Materiali più pesanti sono meglio di quelli leggeri per il montaggio ad incasso per evitare:

- i problemi della phantom mono image;
- le risonanze degli strati di incasso;
- l'interazione con le altre pareti lontane dalla sorgente (non minimum phase effects)

Considerazioni aggiuntive!

direttività di una cassa piccola vs. grande e riflessioni

I nearfield hanno generalmente molti altri problemi, come quelli legati alla **direttività**.

Infatti, le dimensioni di una cassa influenzano la radiazione sonora: questo effetto si manifesta quando la lunghezza d'onda che è generata dai monitor è identica (o proporzionale) a una delle sue dimensioni. La cassa comincia ad essere direttiva per questa frequenza e per le sue armoniche relative.

Per fare un esempio, per un piccolo monitor, le dimensioni corrispondono al **midrange**, che è già molto direttivo, e **rinforzano il fenomeno danneggiando la risposta off-axis**.

Per una cassa più grande le dimensioni corrispondono a frequenze più basse dove l'energia è molto meno direttiva, per questo motivo l'effetto risulta trascurabile.

Inoltre una cassa piccola risente particolarmente della presenza di grandi console nel range di emissione delle sue frequenze più basse, del muro dietro e dei comb filter che ne conseguono, e delle riflessioni della console alle medie frequenze.
Questo è un effetto della vicinanza di oggetti di grandi dimensioni ai driver.

Nel caso di un big monitor incassato a muro non ci sono oggetti vicino ai driver, ai mid e ai tweeter, come capita spesso invece nel caso delle casse piccole, e questo ha effetto sulla loro risposta.

Consigli sui monitor

quali comprare e come montare?

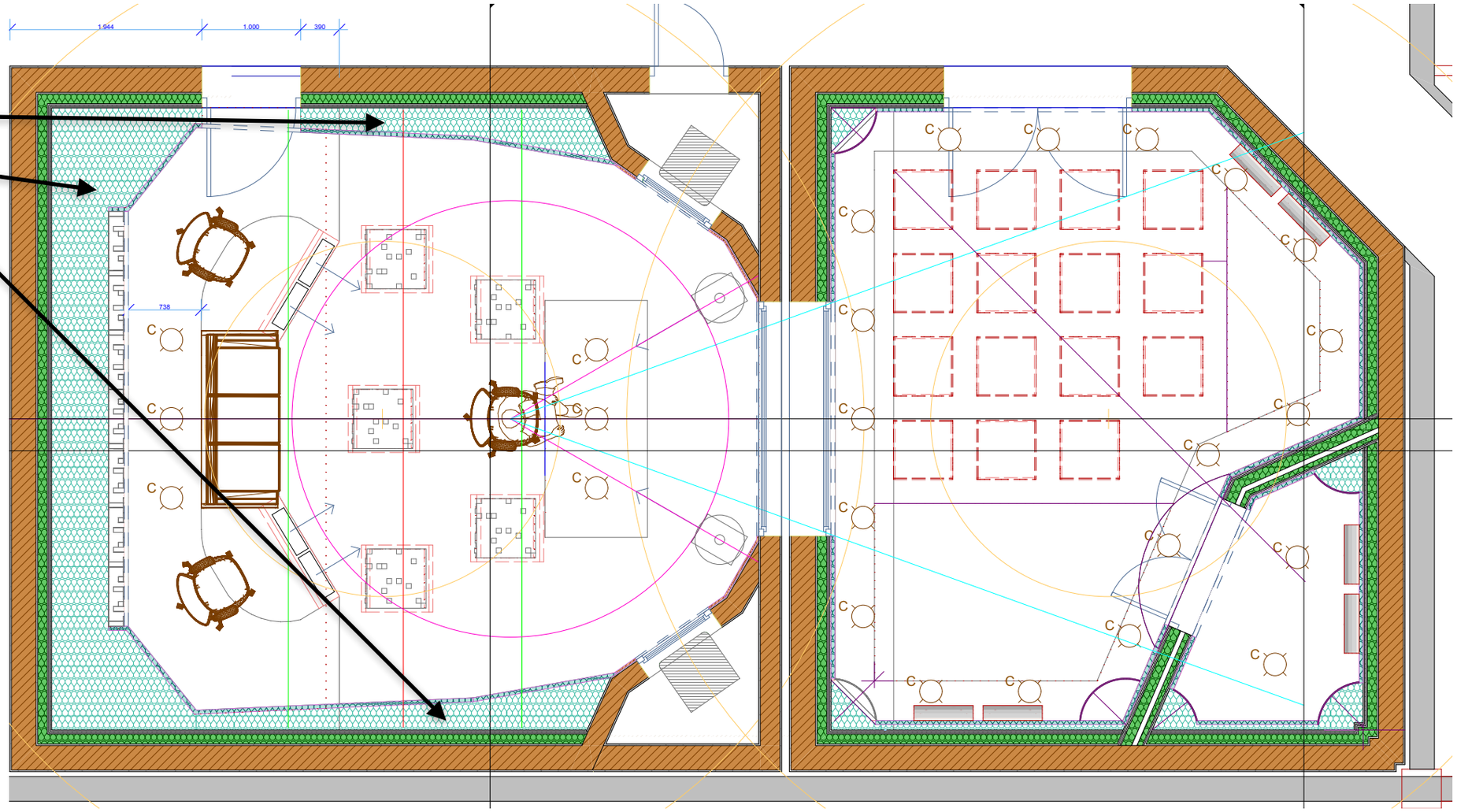
Concludendo, il mio consiglio, se se ne ha la possibilità, è quello di poter prevedere i big monitor in uno studio, considerando che la distanza minima d'ascolto non possa essere inferiore ai 2.2m circa.

Quindi è sicuramente inutile inserirli in stanze che non abbiano una dimensione idonea, ma in alcune situazioni con dimensioni contenute mi è capitato di poter montare (flush mount) dei mid-field (1.7÷2.4 m) con ottimi risultati.

Il montaggio e il posizionamento di un loudspeaker è fondamentale in uno studio, un errato posizionamento può causare buche nella risposta in frequenza anche di 15÷20 dB!

VI Assorbimento acustico

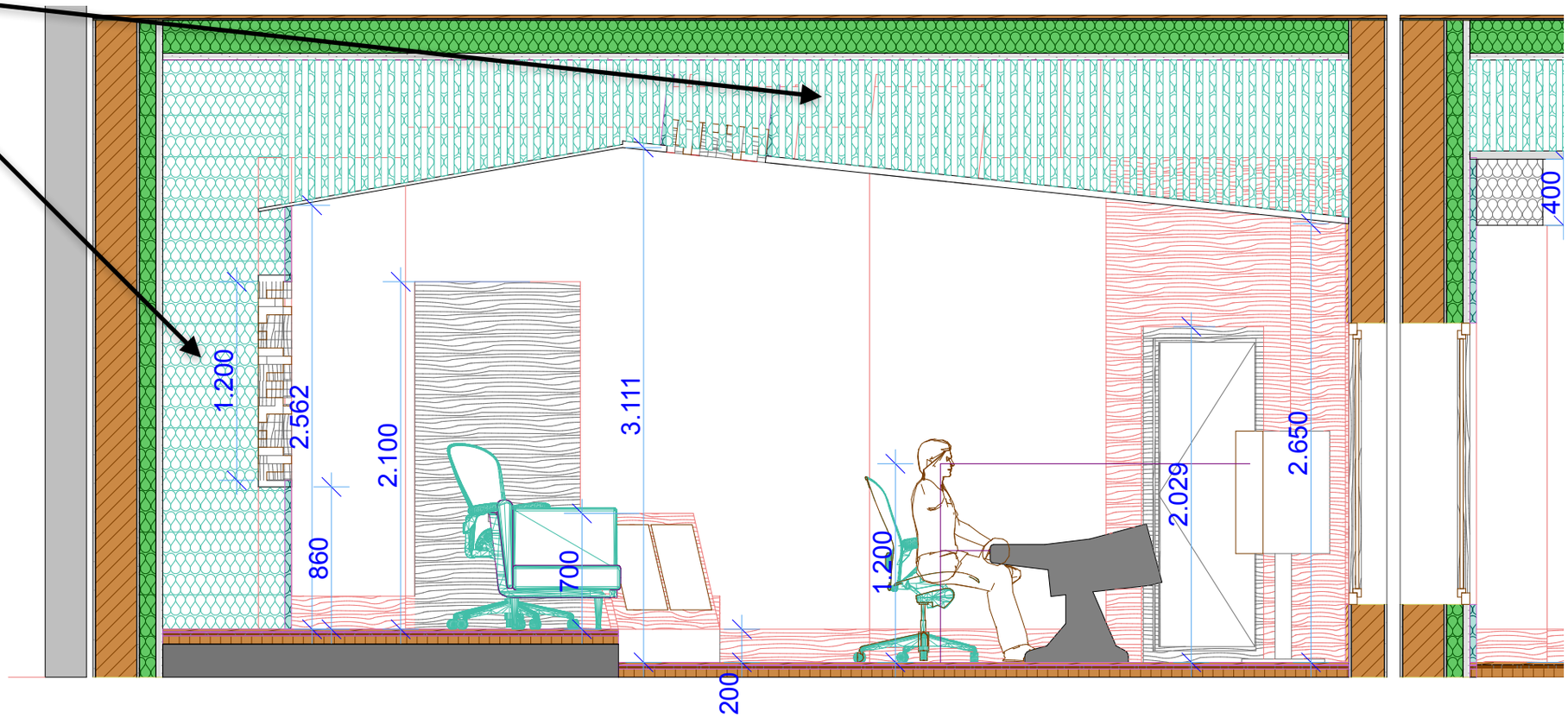
Assorbimento con materiale poroso



Dove metterlo?

Assorbimento con materiale poroso

baffle al soffitto

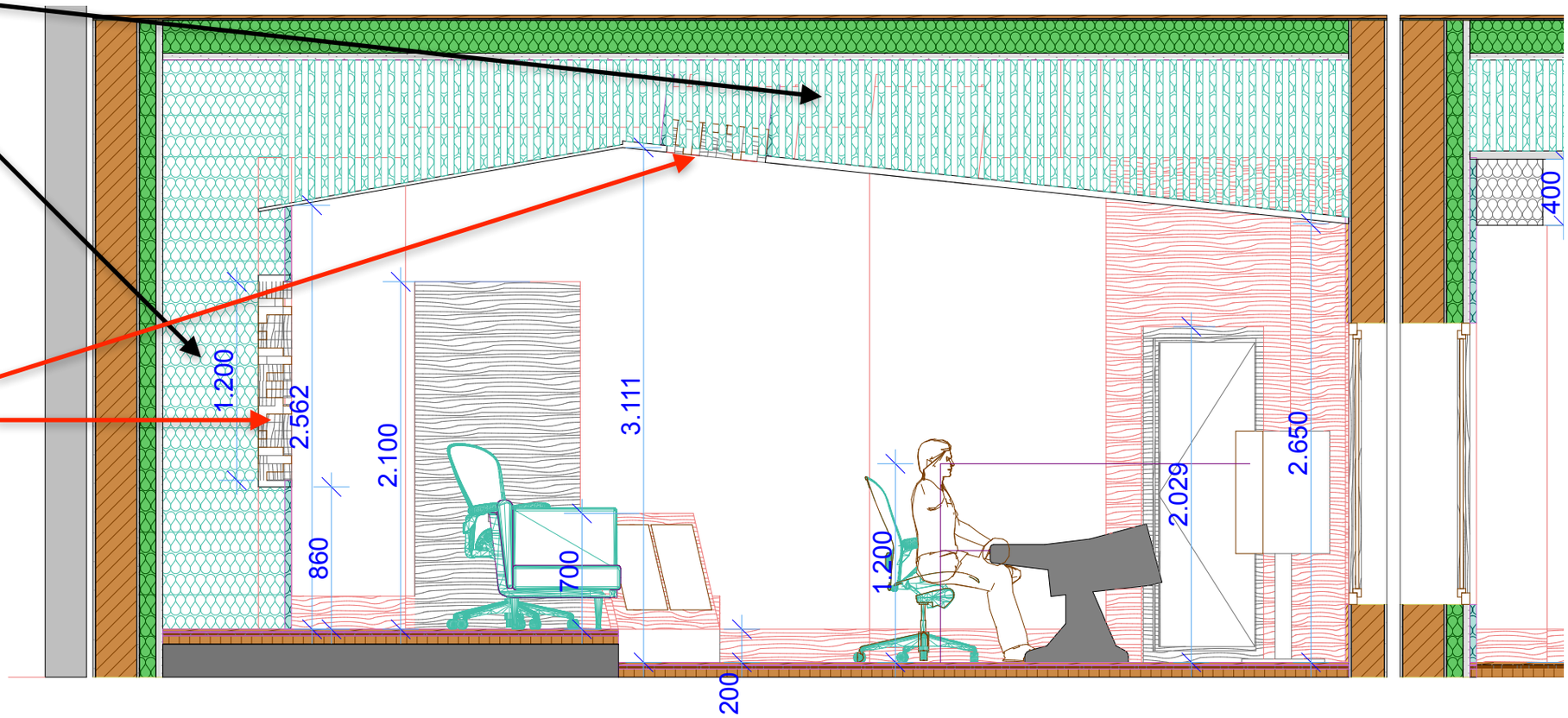


Dove metterlo?

Assorbimento con materiale poroso

baffle al soffitto

diffusione per mid-hi freq.

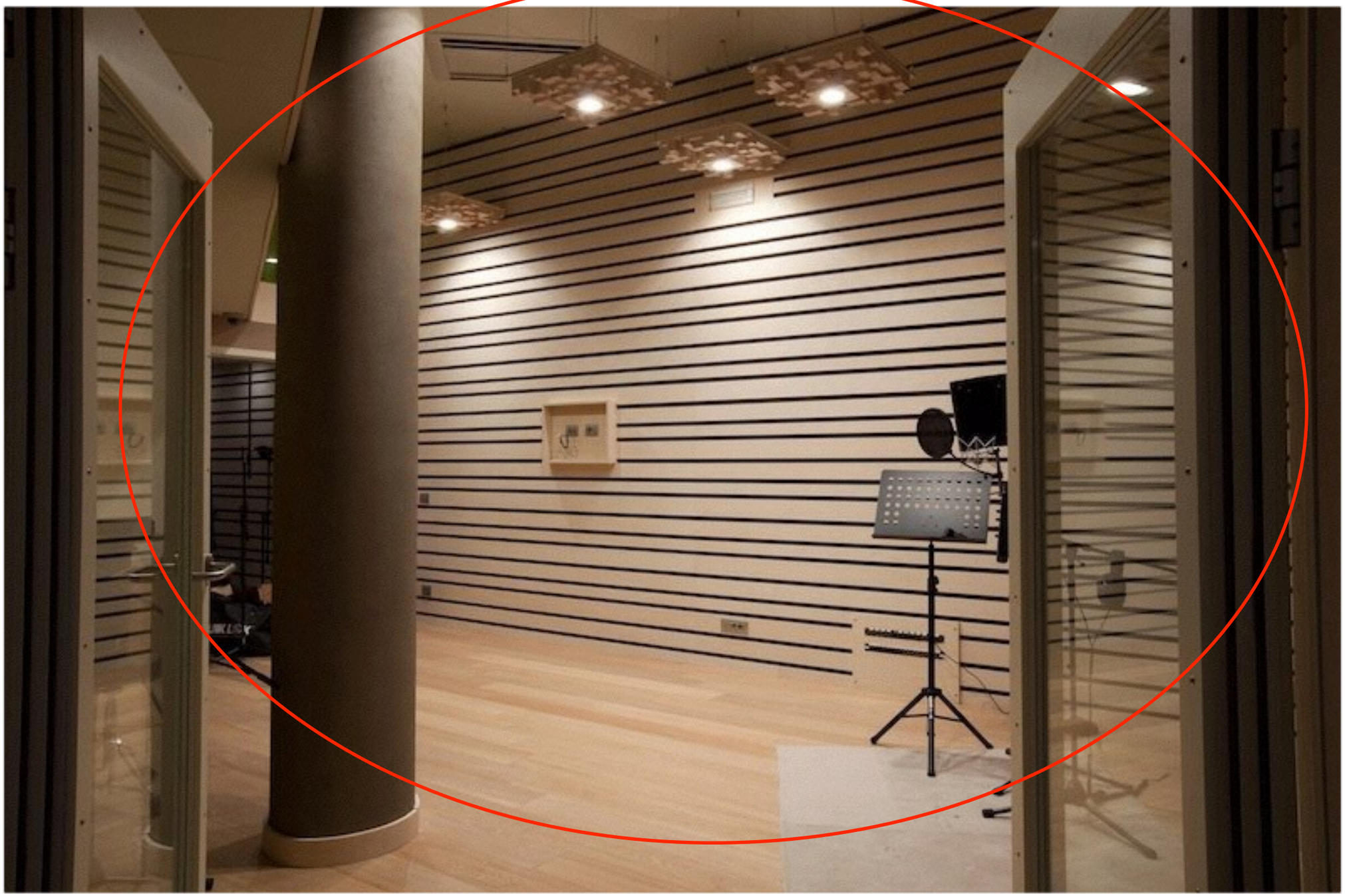


Esempi di assorbitori forati e a stecche:

Esempi di assorbitori forati e a stecche:

Platinum Studio - San Gimignano (SI)

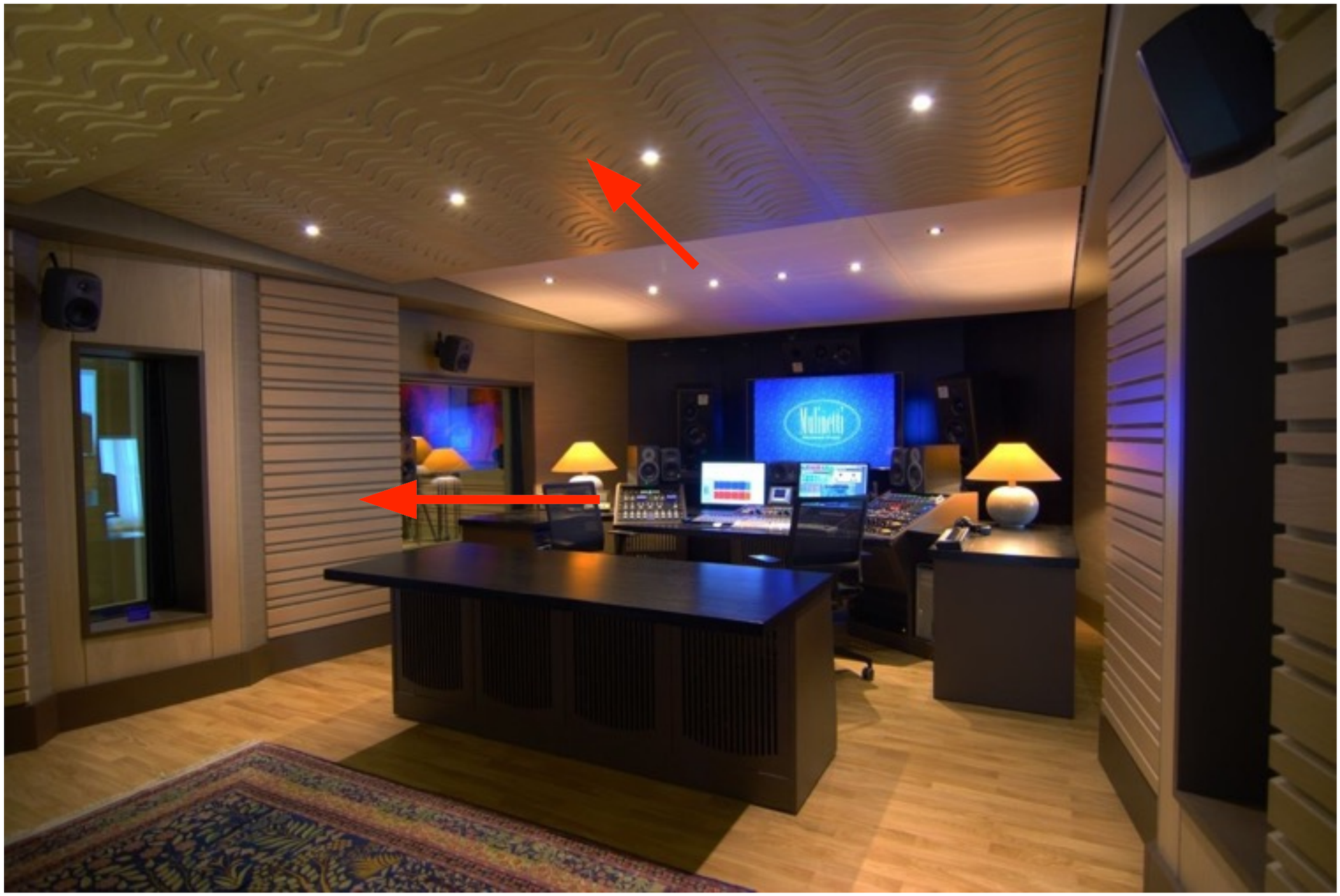
Esempi di assorbitori a stecche:



Esempi di assorbitori a stecche:

Milk Studios - Roma

Esempi di assorbitori a stecche:



Mulinetti Recording Studio - Genova

VII Diffusione acustica

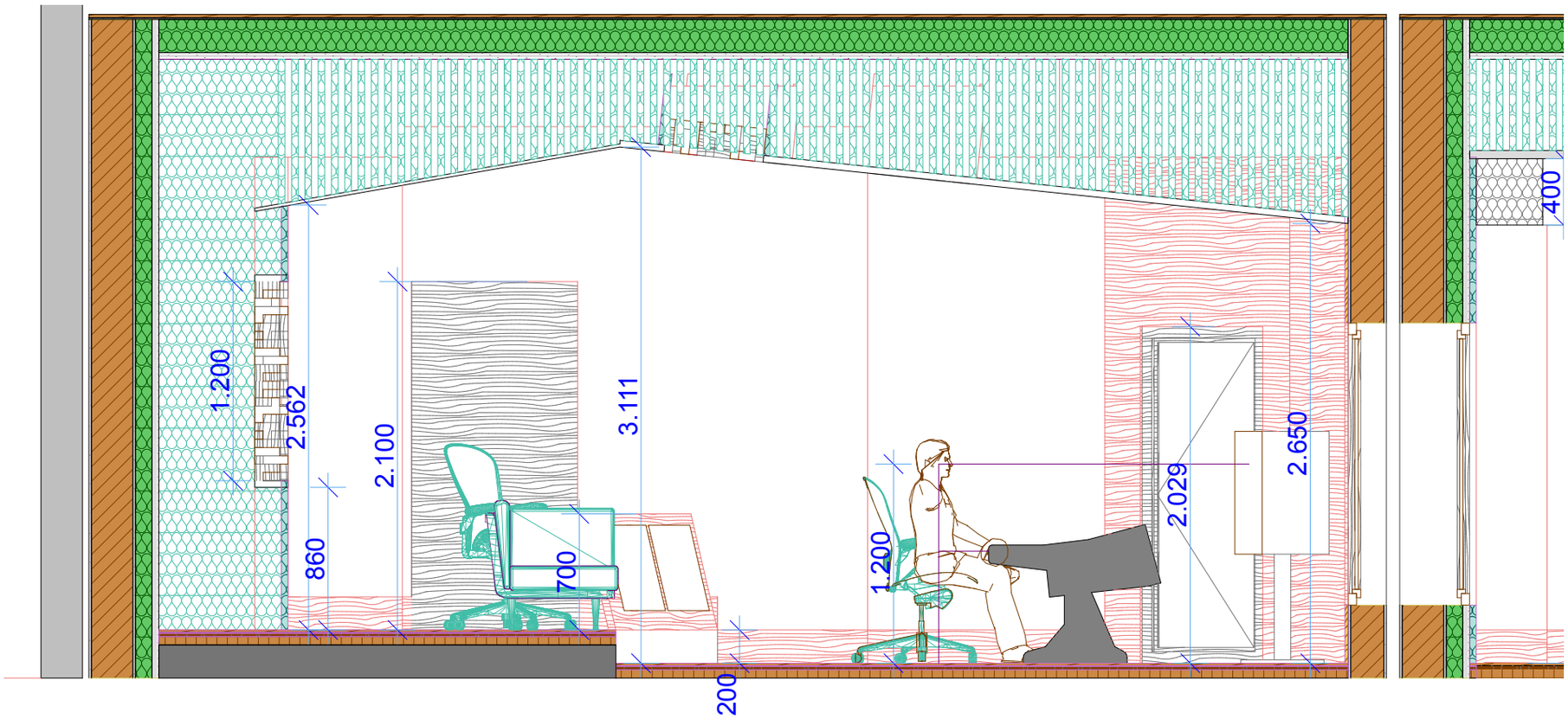
1. Posizionare il diffusore sulla parete di fondo, sopra l'assorbimento acustico;

2. alcuni diffusori sul soffitto potrebbero essere utili per ingrandire l'immagine e per dare più presenza (brillantezza);

3. è anche utile posizionare altre superfici riflettenti / diffondenti per raggiungere i valori RT giusti, ma si deve controllare la prima riflessione per i pannelli riflettenti;

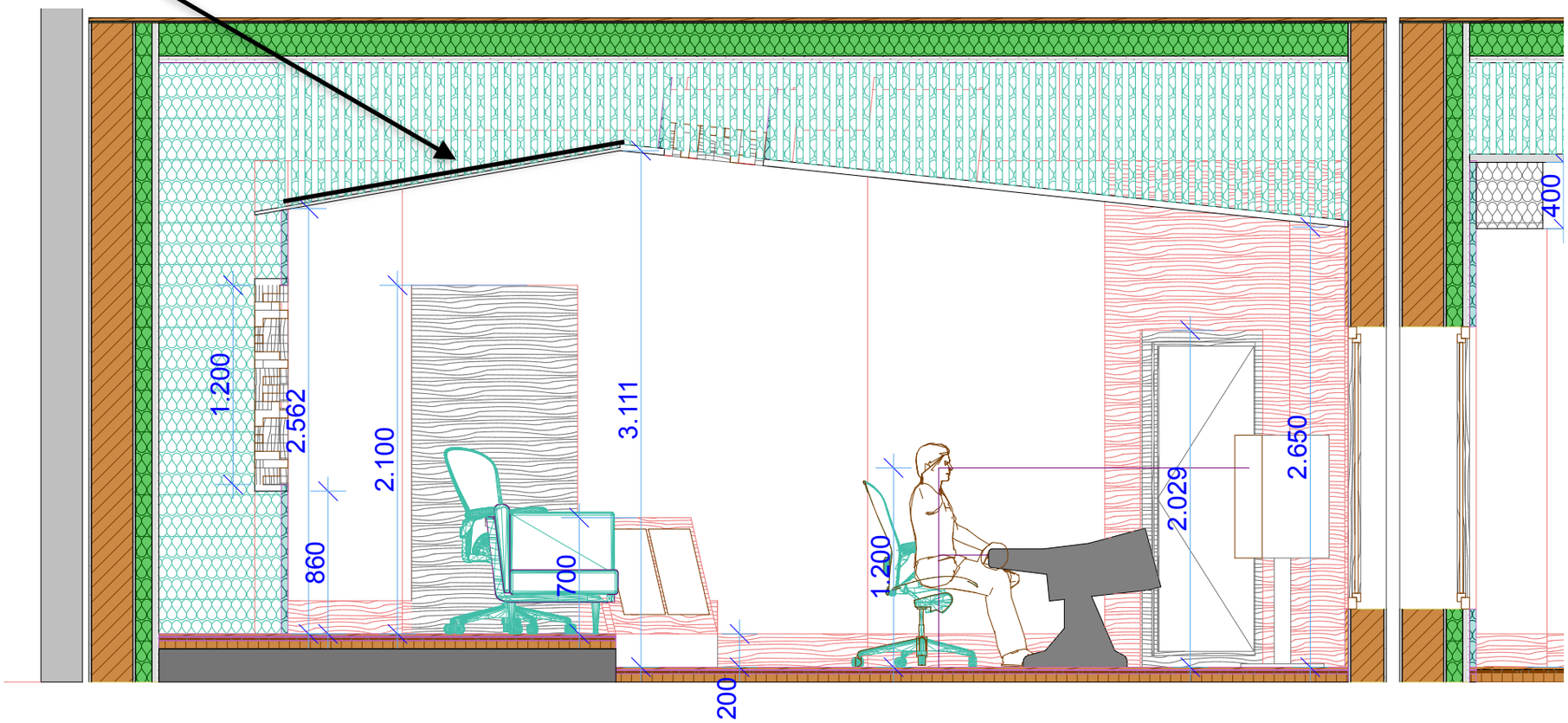
4. è una buona idea mettere un pannello riflettente in prossimità del diffusore sulla parte posteriore, aiuta a farlo funzionare correttamente.

Diffusione acustica



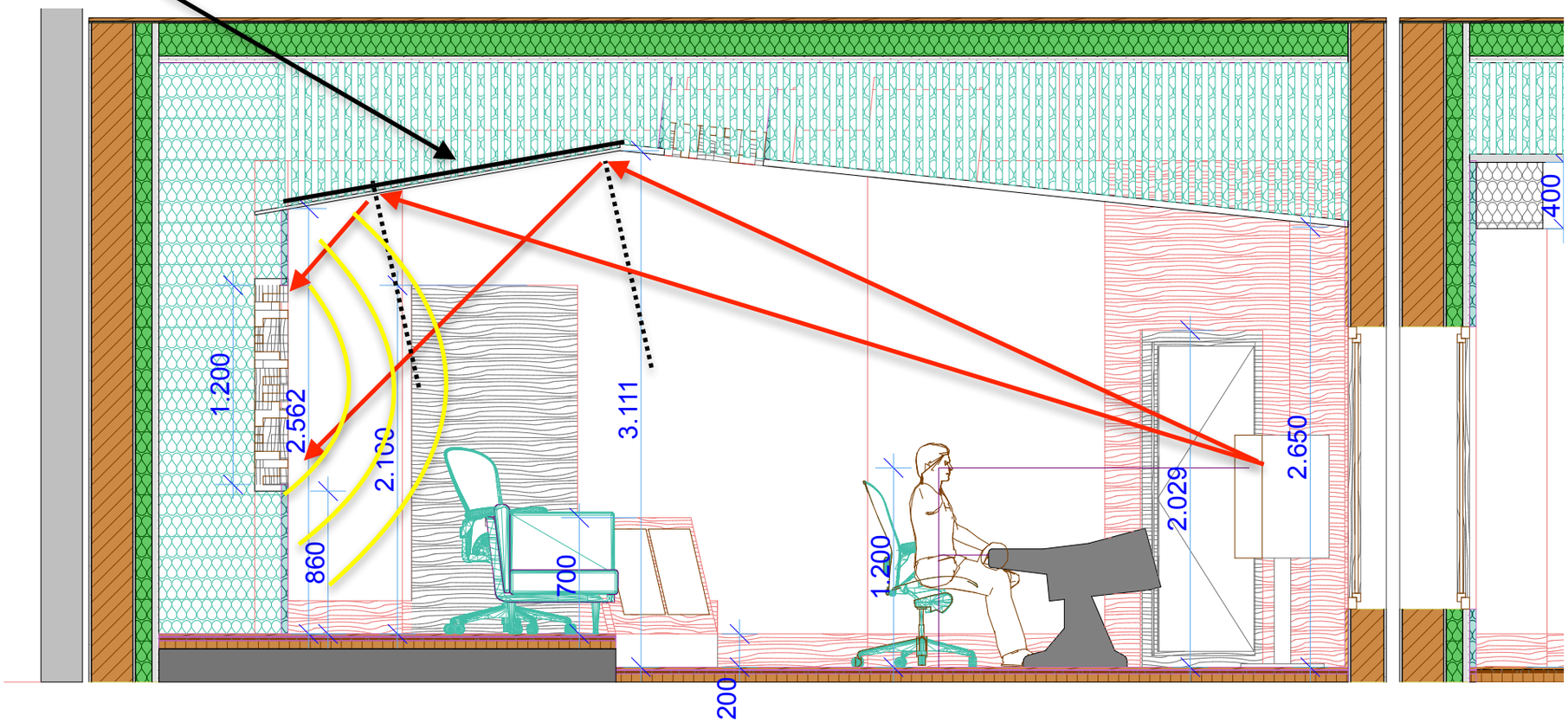
Diffusione acustica

pannello riflettente



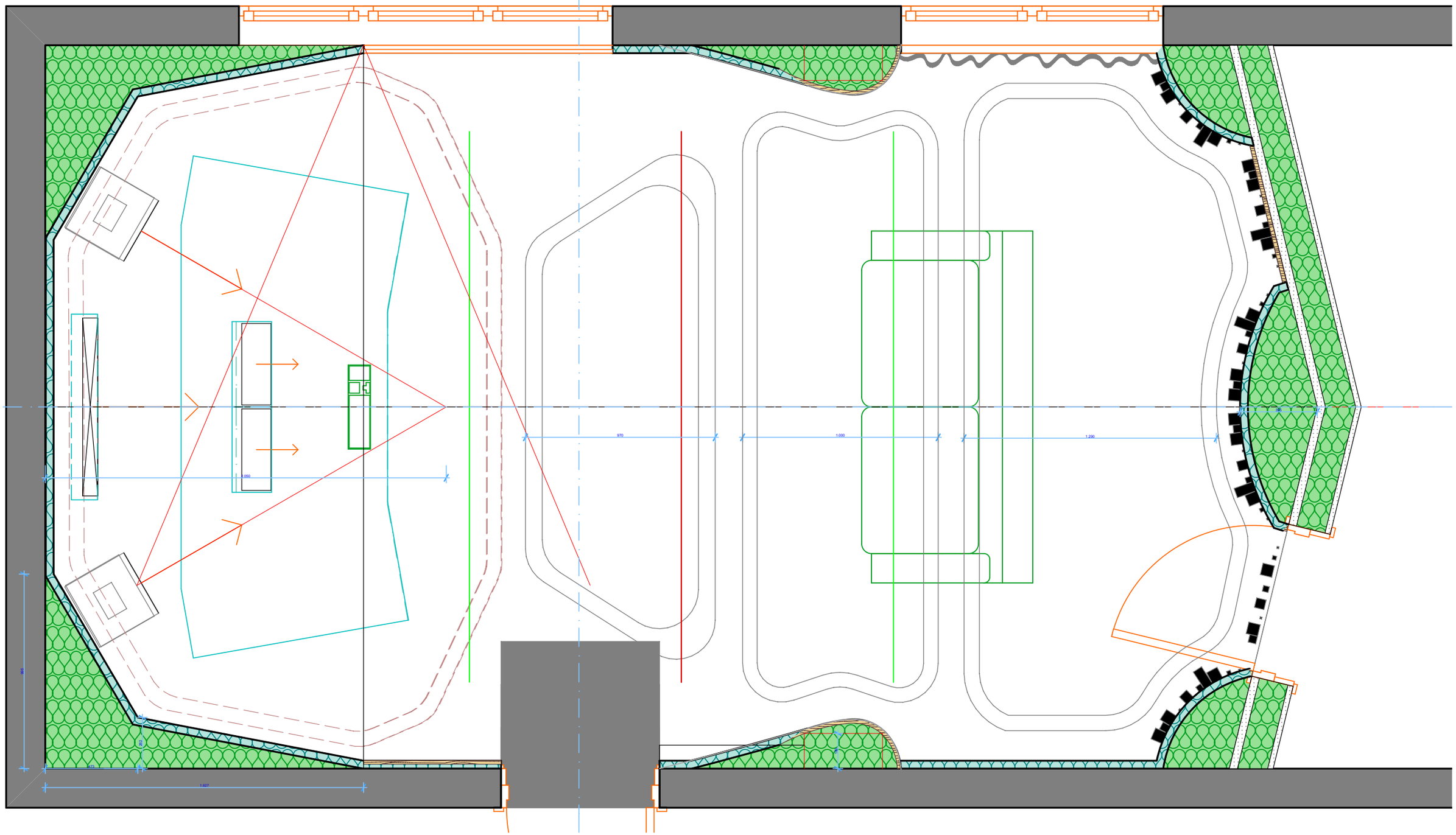
Diffusione acustica

pannello riflettente



Bagnoli Bros Studio @ Castelnovo ne’ monti (RE)

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM



Bagnoli Bros Studio @ Castelnovo ne’ monti (RE)

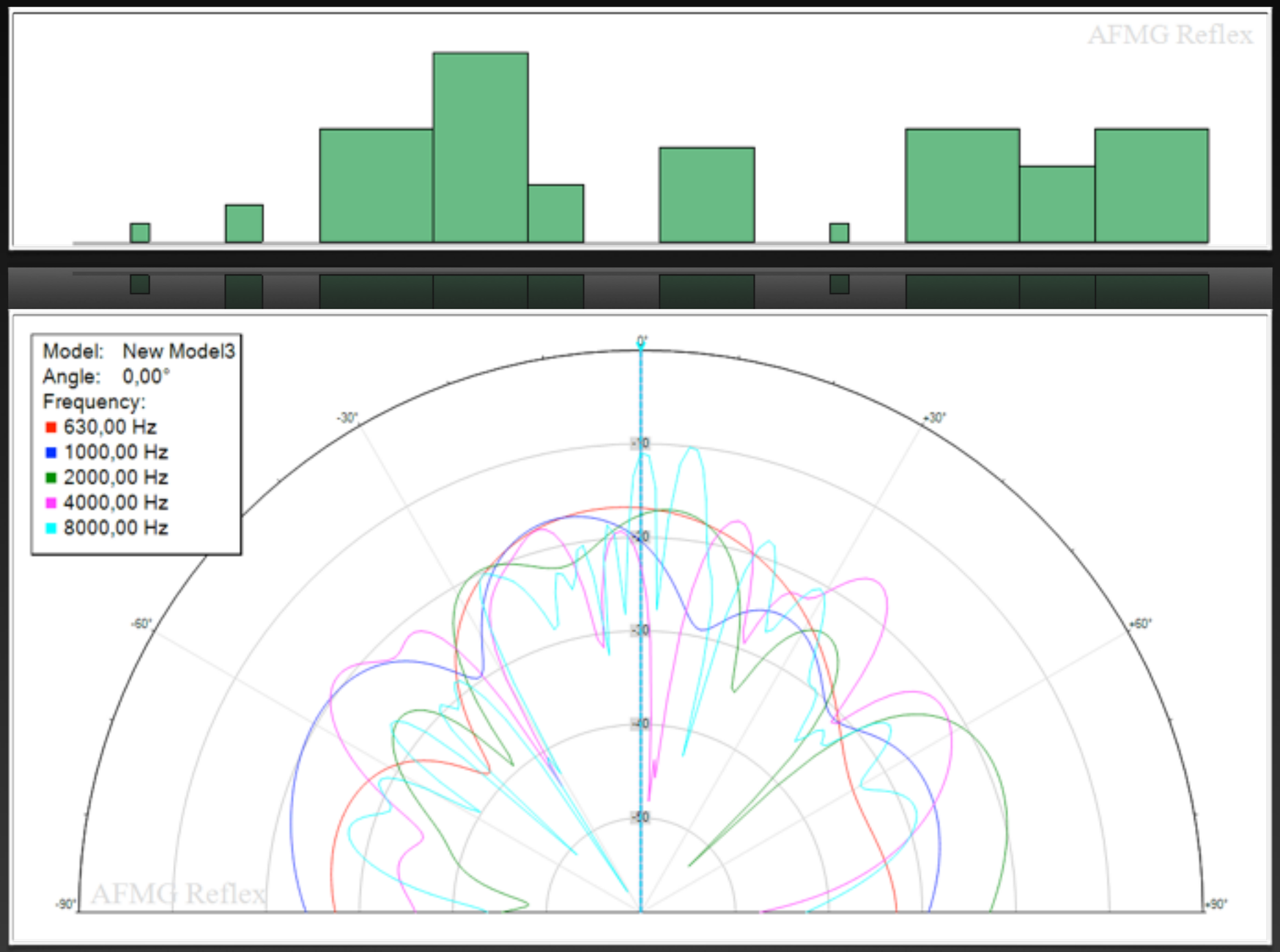
ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

Bagnoli Bros Studio @ Castelnovo ne’ monti (RE)

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

Bagnoli Bros Studio @ Castelnovo ne’ monti (RE)

Slat Absorber/diffuser
SlatSSS



Bagnoli Bros Studio @ Castelnovo ne’ monti (RE)

Bagnoli Bros Studio @ Castelnovo ne’ monti (RE)

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

Bagnoli Bros Studio @ Castelnovo ne’ monti (RE)

Bagnoli Bros Studio @ Castelnovo ne’ monti (RE)

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

Bagnoli Bros Studio @ Castelnovo ne’ monti (RE)

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

Slat Absorber/diffuser
(Helmholtz resonators)

Bagnoli Bros Studio @ Castelnovo ne’ monti (RE)

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

Ronny Aglietti Studio @ Monte San Savino (AR)

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

Binary Amplitude Diffuser
BadSSS

Ronny Aglietti Studio @ Monte San Savino (AR)

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

Ronny Aglietti Studio @ Monte San Savino (AR)

Binary Amplitude Diffuser
BadSSS

Ronny Aglietti Studio @ Monte San Savino (AR)

Ronny Aglietti Studio @ Monte San Savino (AR)

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

Ronny Aglietti Studio @ Monte San Savino (AR)

Ronny Aglietti Studio @ Monte San Savino (AR)

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

Binary Amplitude Diffuser
BadSSS

Ronny Aglietti Studio @ Monte San Savino (AR)

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

Ronny Aglietti Studio @ Monte San Savino (AR)

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

FOX International Channels @ Hammersmith, London UK

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

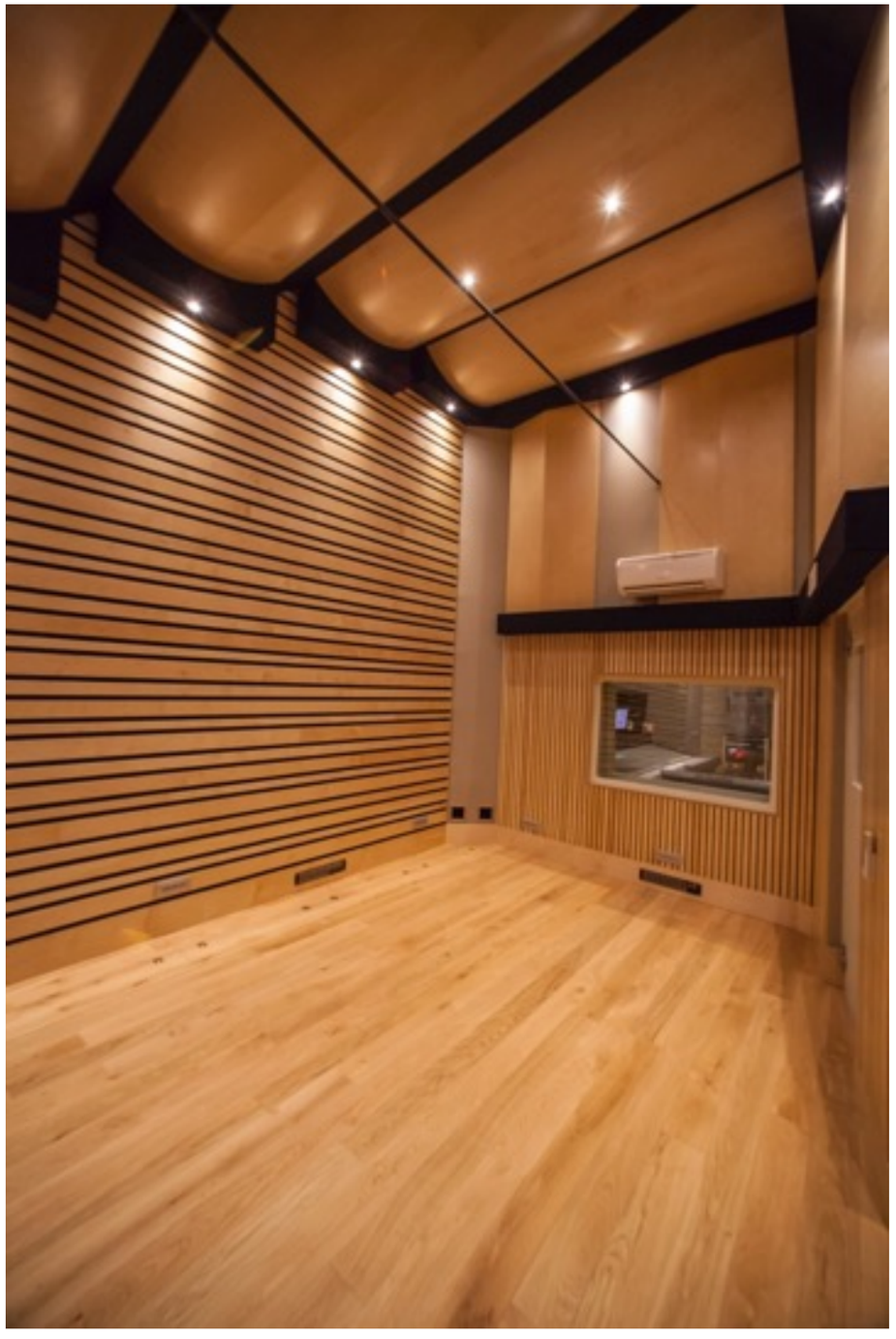
THE
GAR
AGE

CAMALSA WAVE®

Sudestudio @ Guagnano (LE)

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

Diffusori a linee curve



Audacia Records @ Avezzano (AQ)

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

Sudestudio @ Guagnano (LE)

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

International Sound @ Conversano (BA)

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

Caso studio

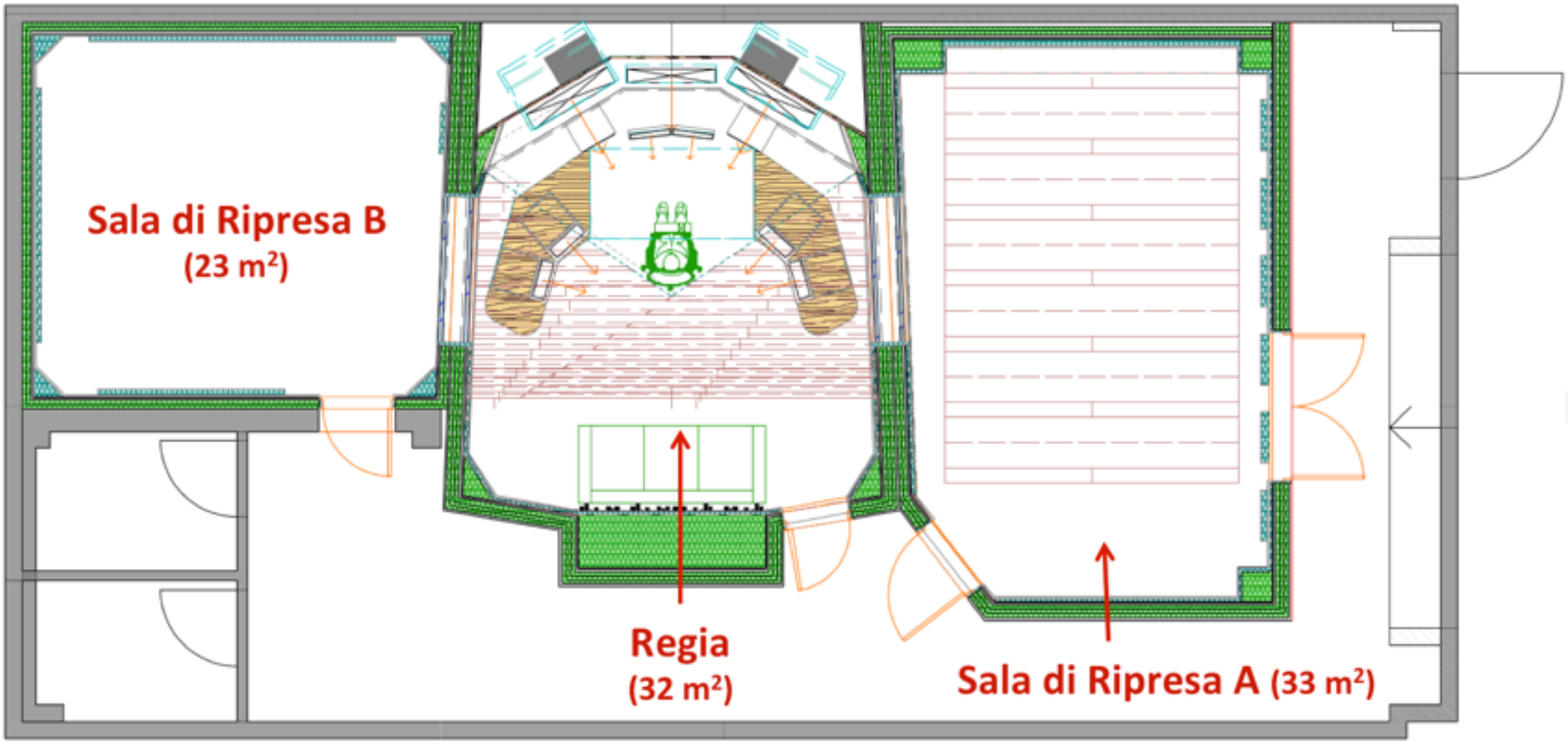
Il D:PoT Recording Arts (Prato)

Caso studio

Il D:PoT Recording Arts (Prato)

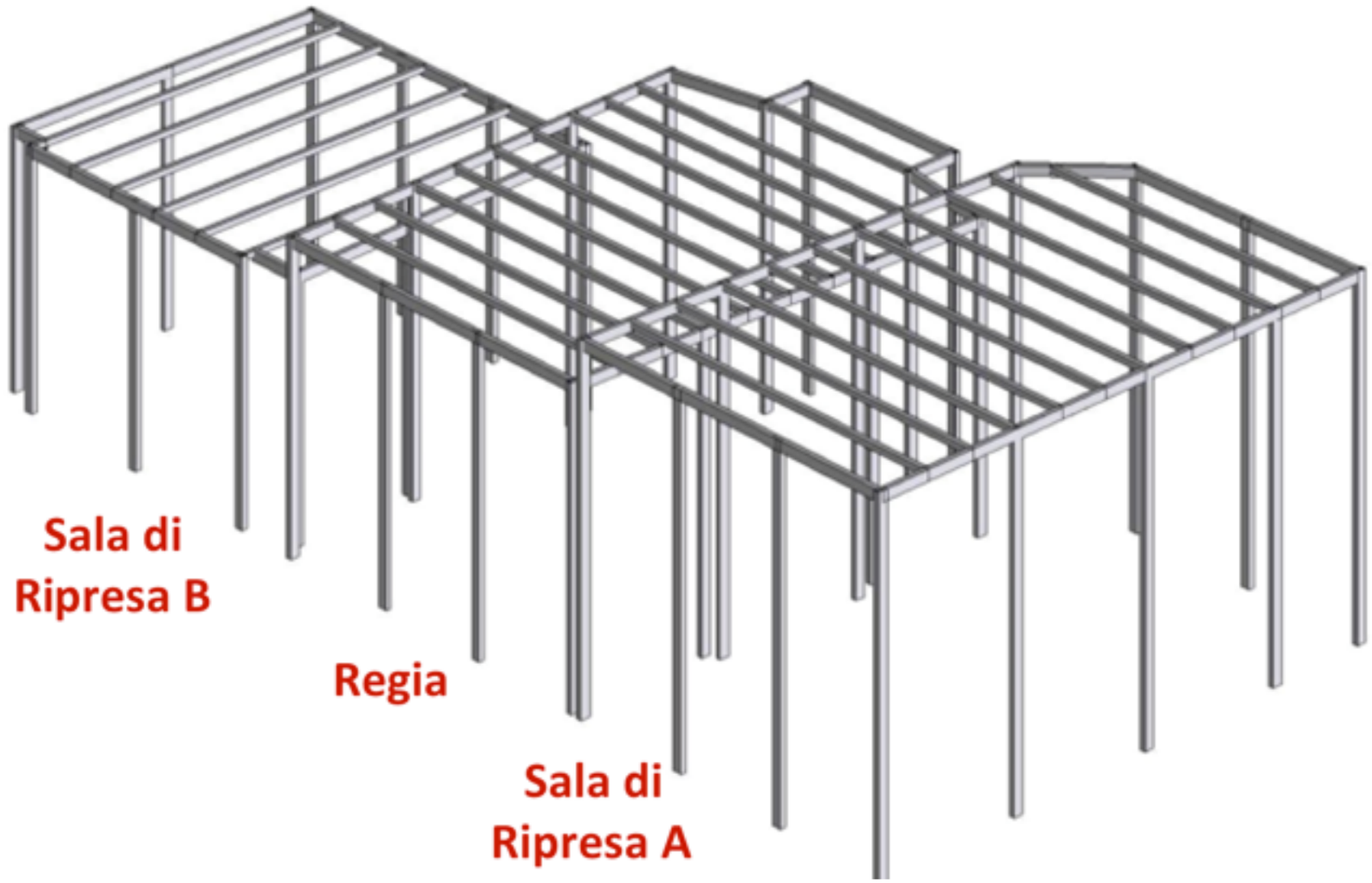
Caso studio

Il D:PoT Recording Arts (Prato)

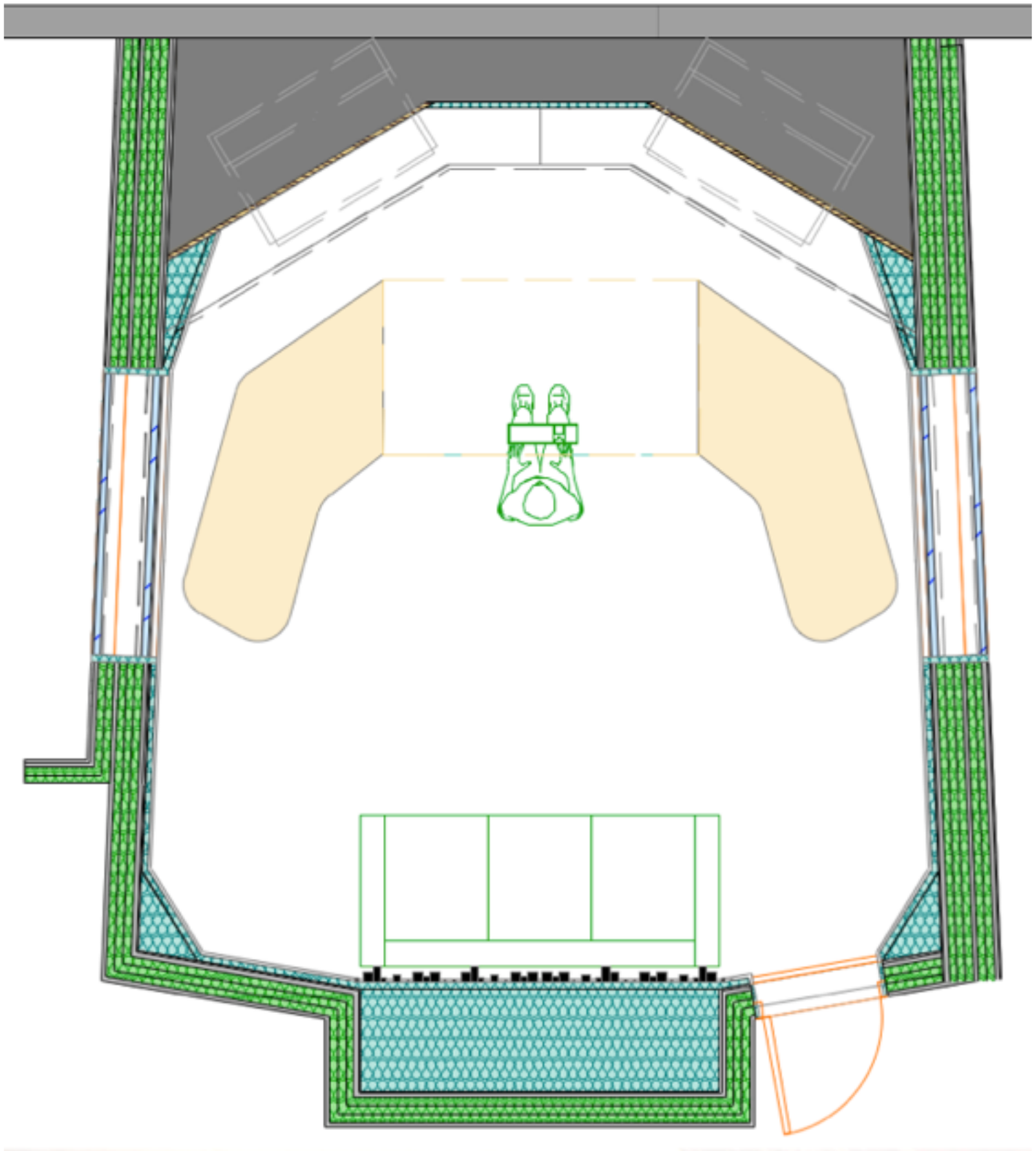


Caso studio

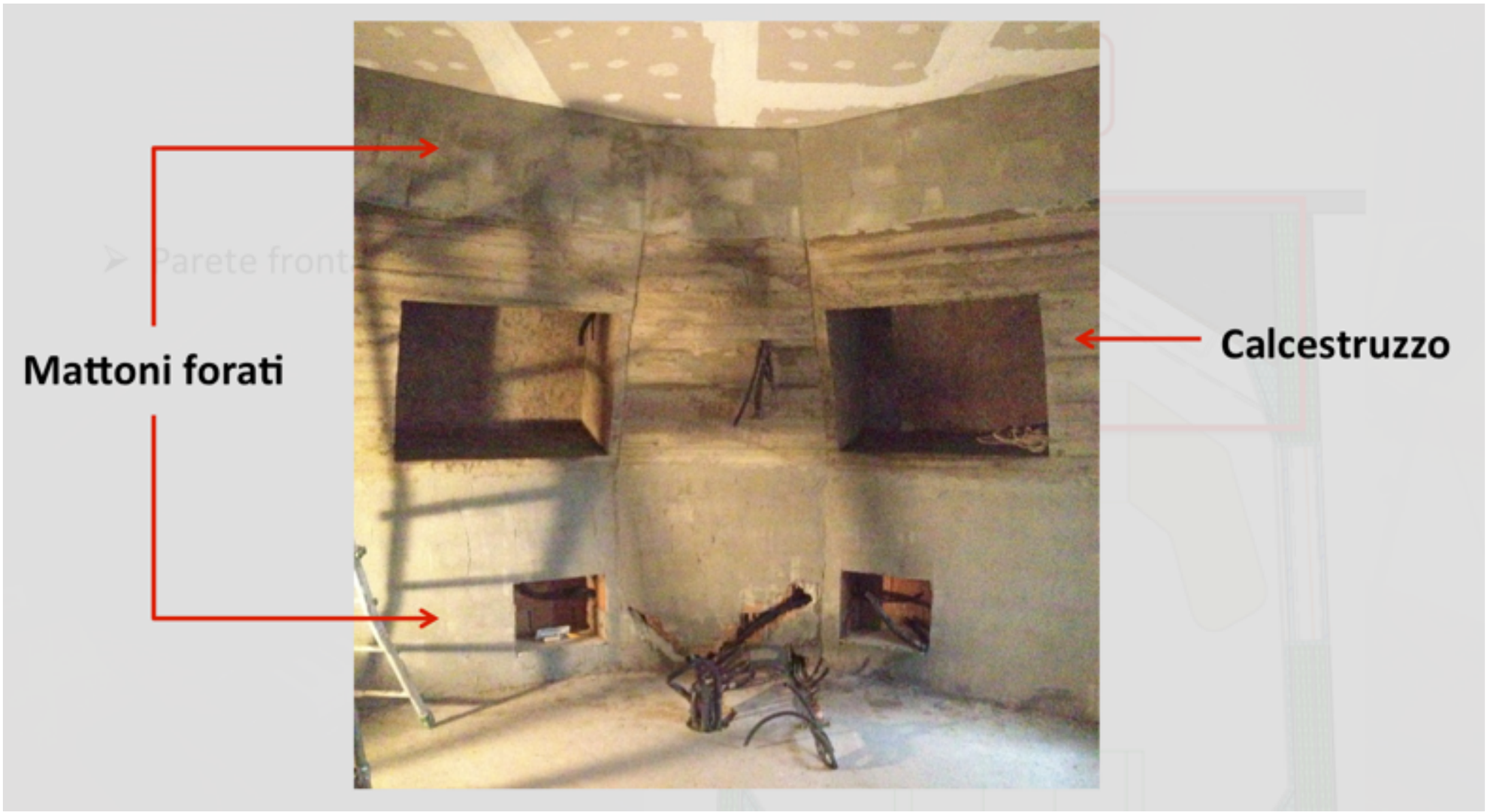
Il D:PoT Recording Arts (Prato)

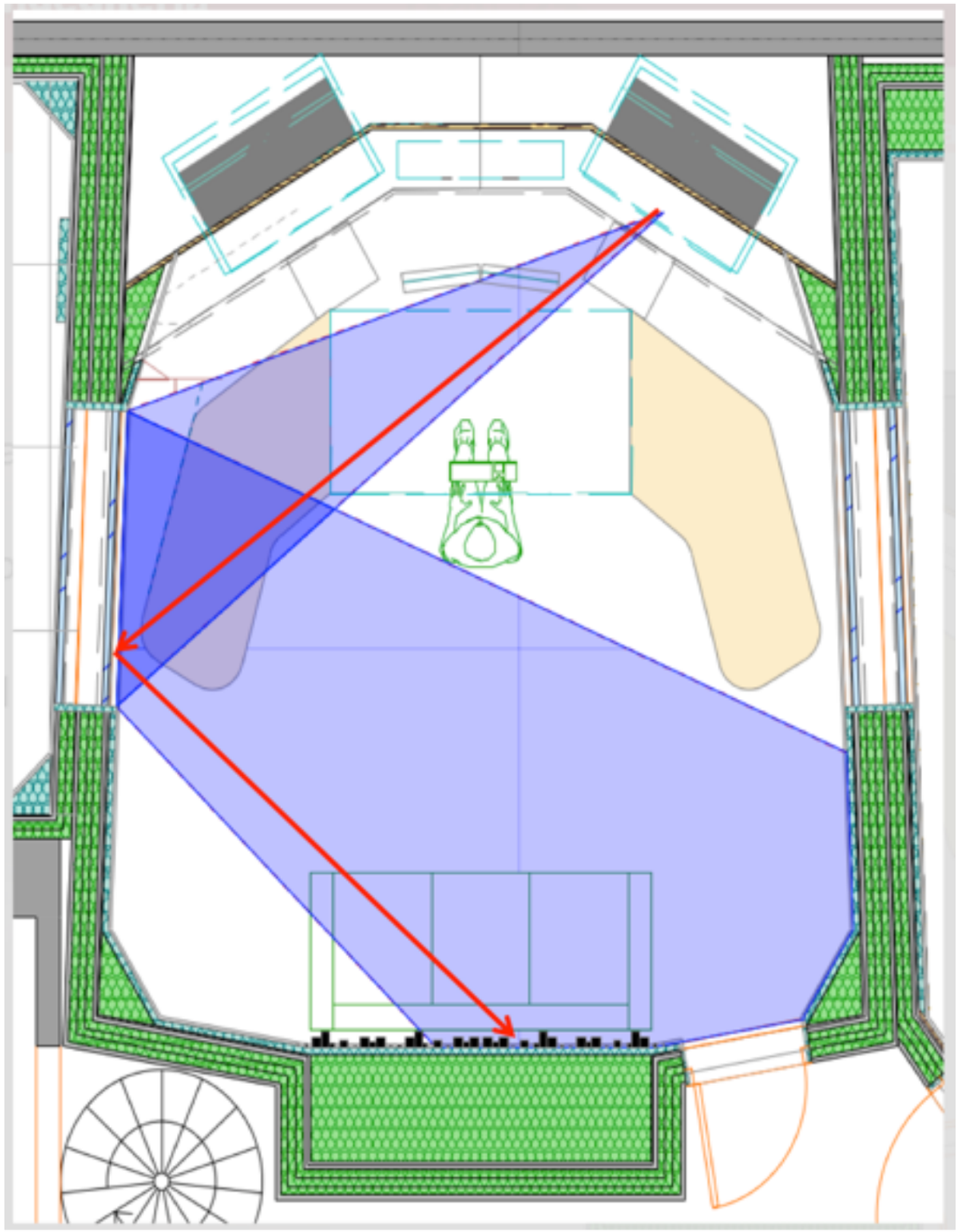


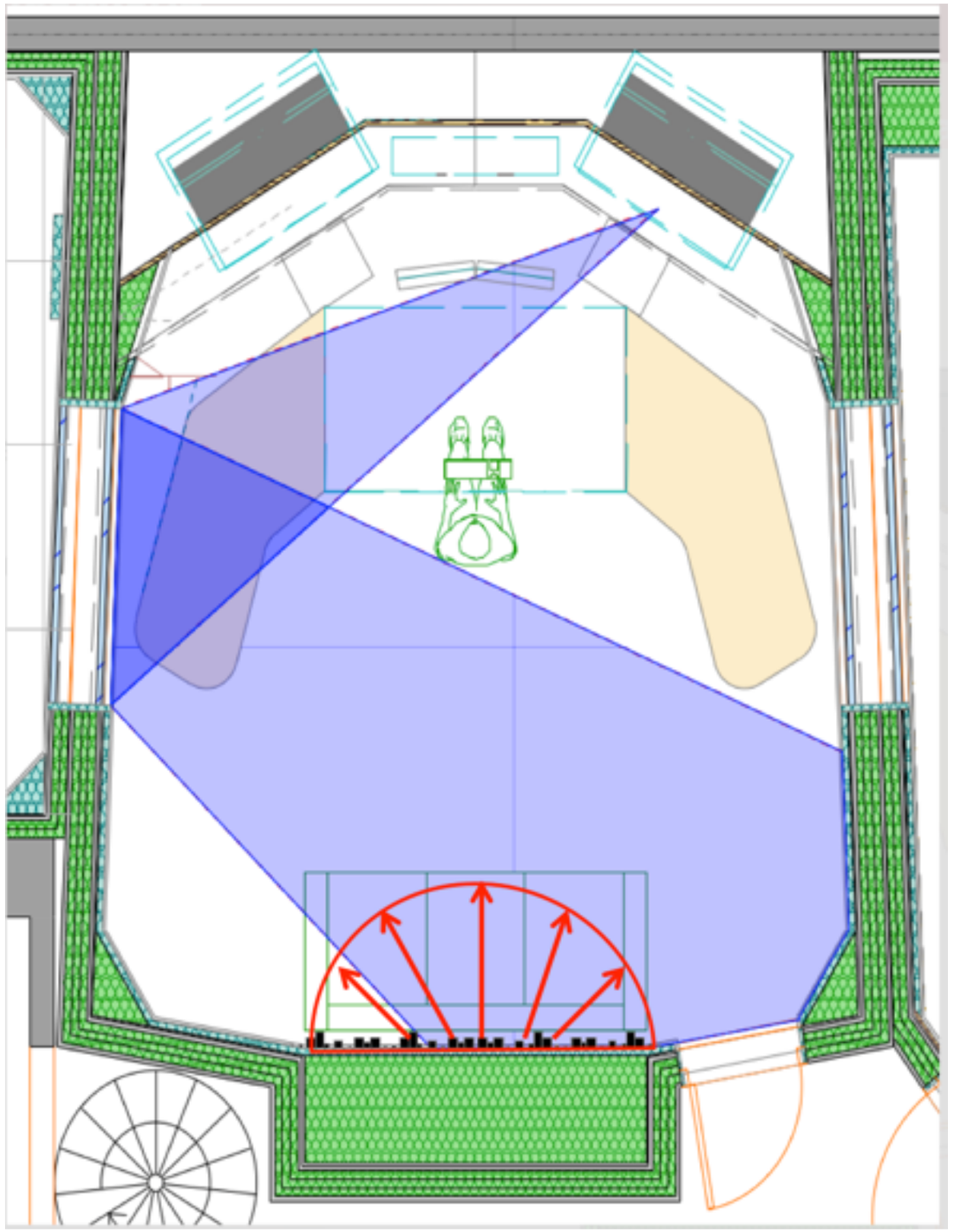
Regia



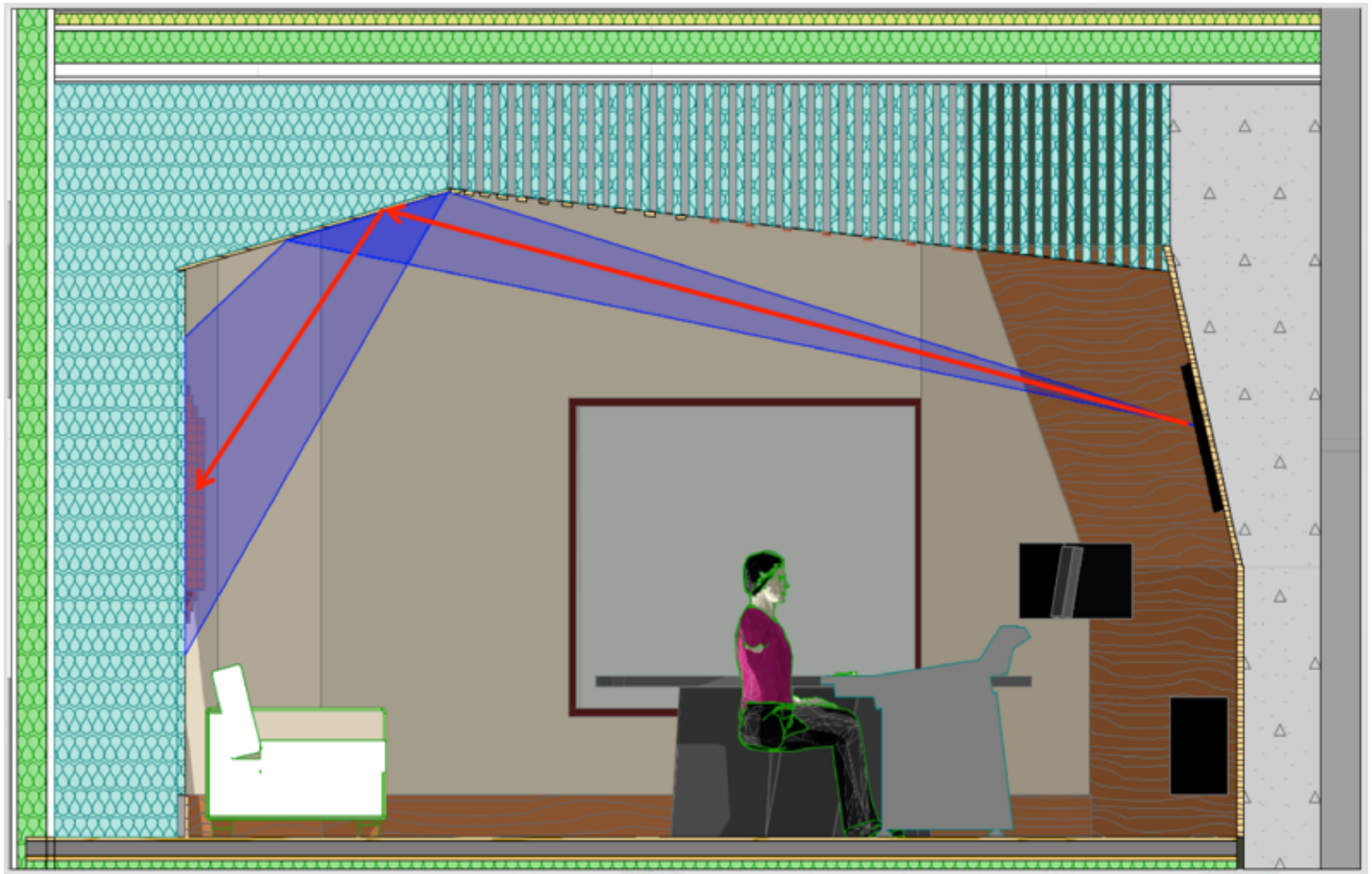
Regia



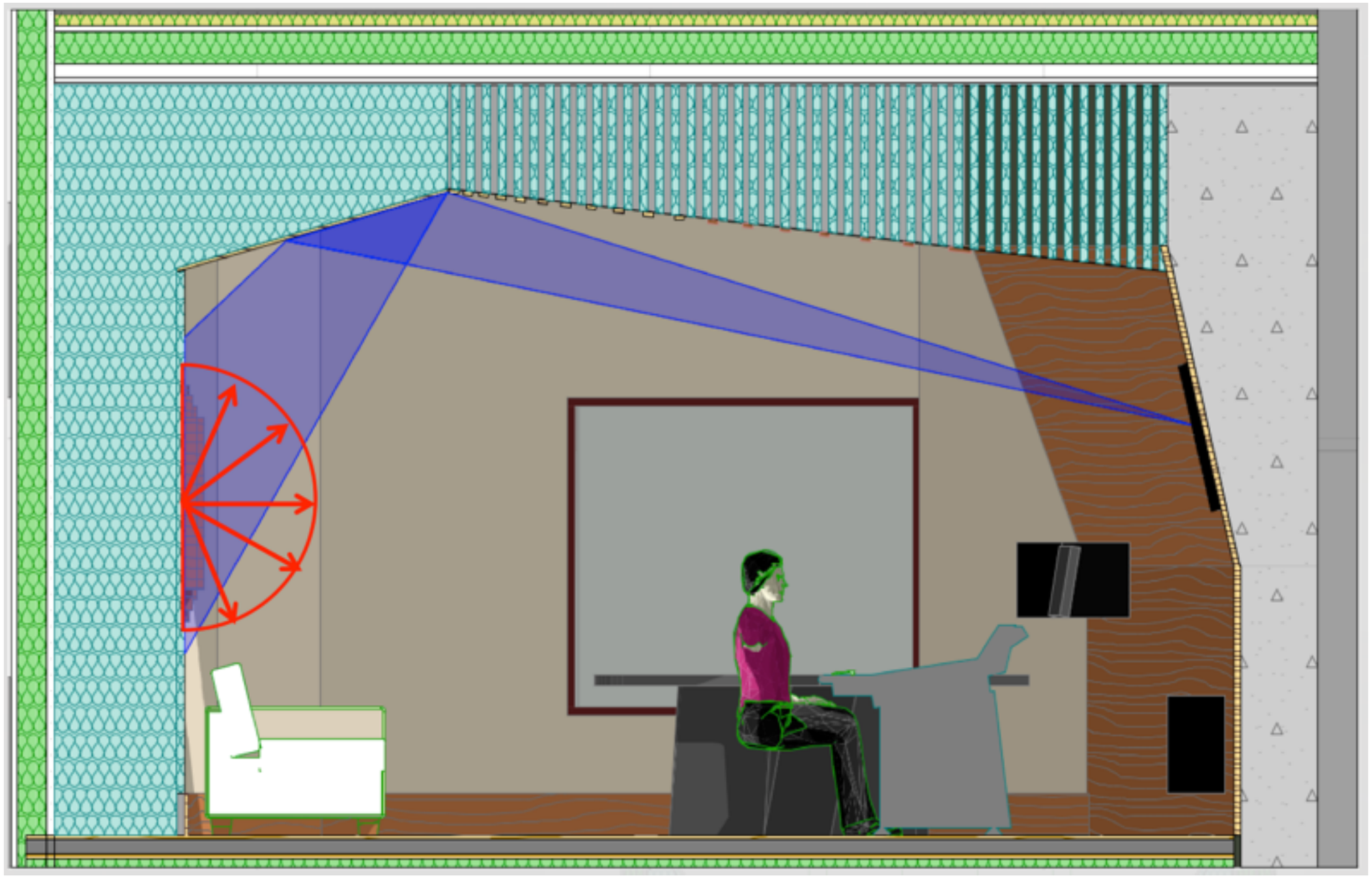




Regia



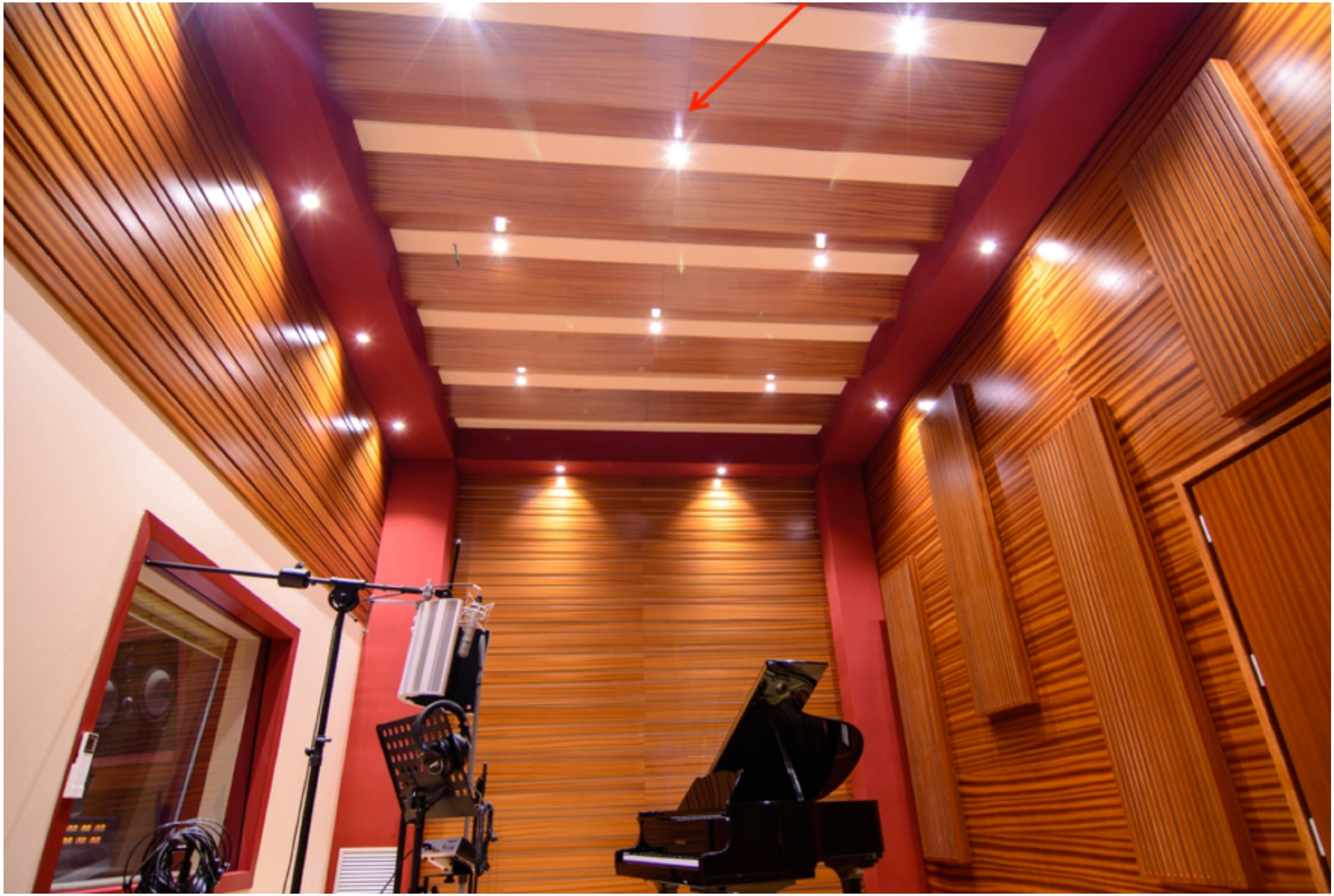
Regia



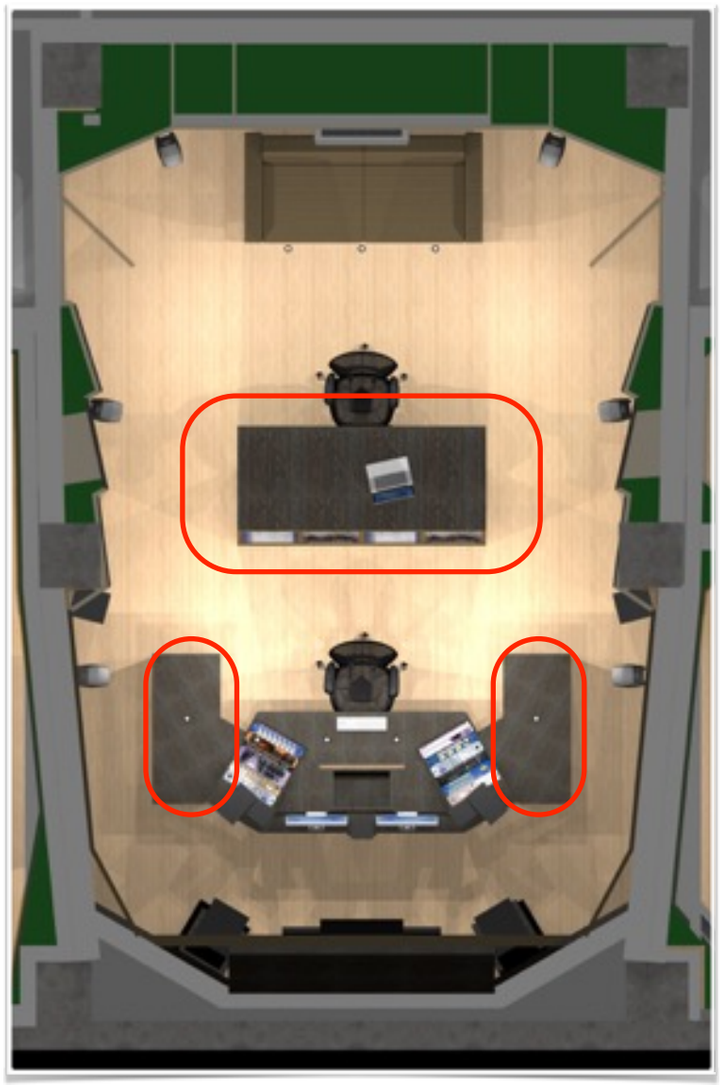
Sala di ripresa

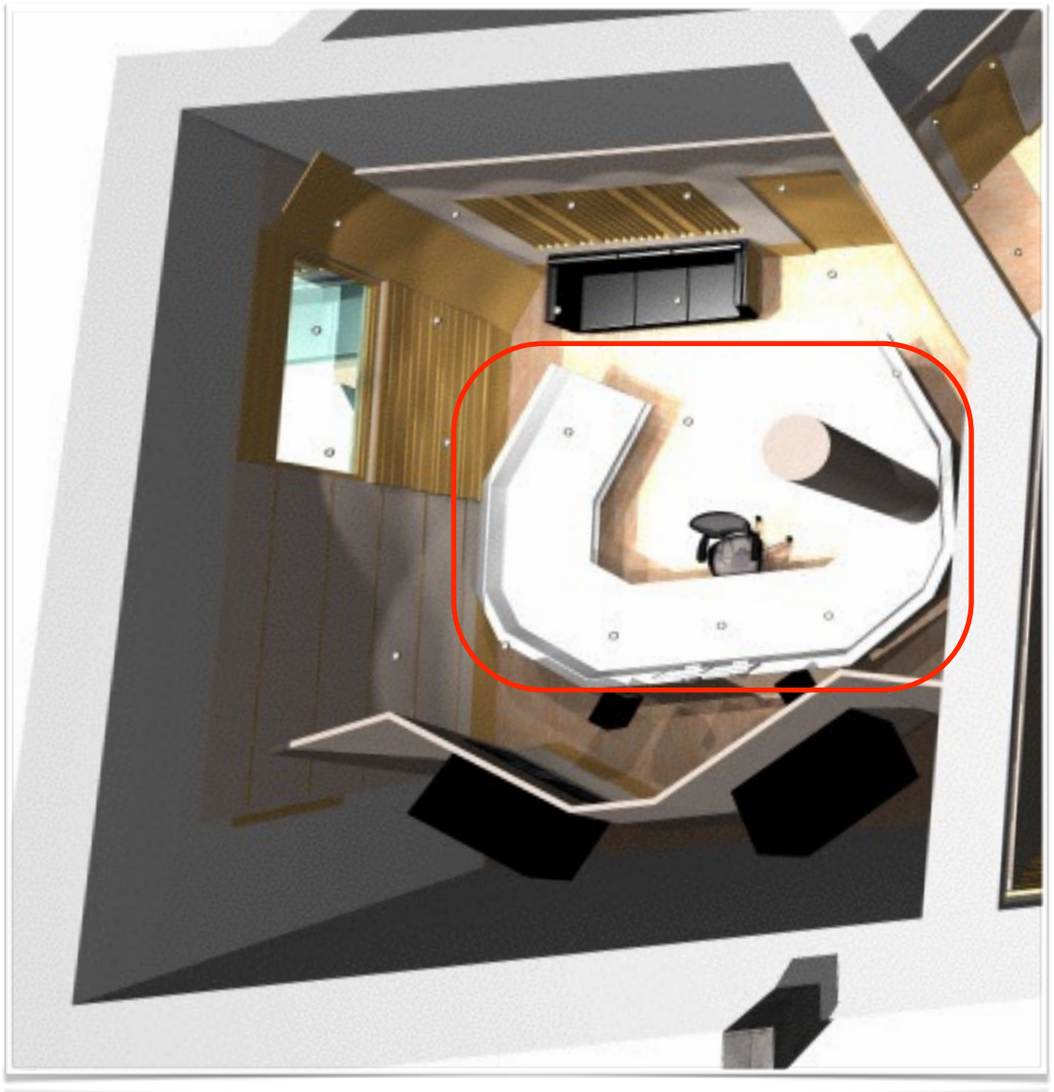
Sala di ripresa

Sala di ripresa



VIII Ergonomia





House of Glass (Gianni Bini) @ Viareggio (LU)

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

Mulinetti Studio (Alberto Parodi) @ Genova
Resolution Cover 04/2015

IX Estetica

Recording studios are sites that are privileged to the most intimate moments of music creativity and emotive performance; insulated spaces that give musicians the required conditions in which to experiment and create music.
(A. Watson, 2015)

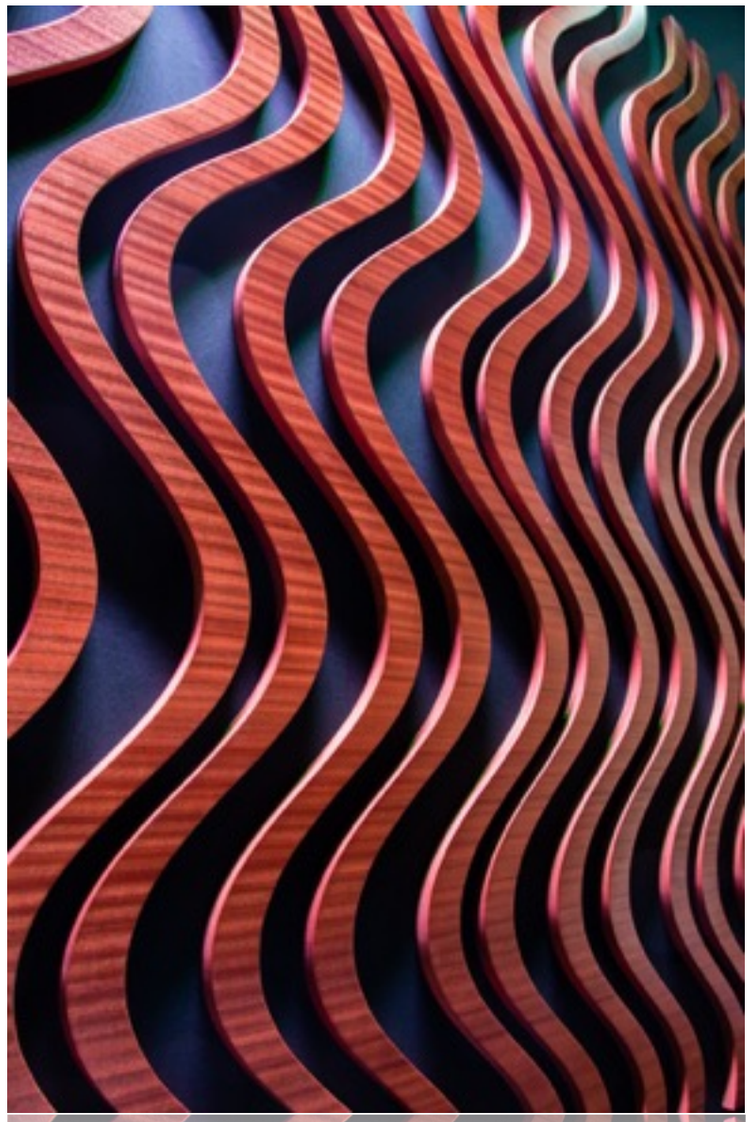
Non sono soltanto sale con una buona acustica ma:

- ambienti “performativi”;
- ambienti dove avvengono delle relazioni (in cui l’intimo e la qualità emotiva dei rapporti umani è messo a nudo).

L'atmosfera in studio influenza le emozioni dei singoli e il "mood" della musica.

Estetica

Così l’estetica dello studio non è una cosa da poco, ma una vera e propria esigenza.
Non parliamo solo di fare un "bello" studio, ma di creare un ambiente:



- **creativo;**
- **d'ispirazione;**
- **confortevole.**

e questo può cambiare a seconda della musica o contenuti audio che verrà prodotto in esso.

X Elettronica – (auto)calibrazione

I sistemi di auto-calibrazione più evoluti, posizionando un microfono di misura al punto d'ascolto, o in diversi punti, registrano una (o più!) **risposta all'impulso** della stanza mediante l'eccitazione di un segnale di test (tipicamente un *sine-sweep*) per ogni singolo monitor.

Dalla risposta all'impulso si riescono ad ottenere moltissime informazioni, comprese quelle di carattere temporale come l'allineamento fine della **fase** tra le singole casse.

In particolare, il sistema calcola anche la **risposta in frequenza** al punto d'ascolto, o per meglio dire, al punto (o ai punti) di misura, e poi applica dei filtri per tentare di migliorarla.

Cosa si può correggere?
problemi sulla risposta in frequenza

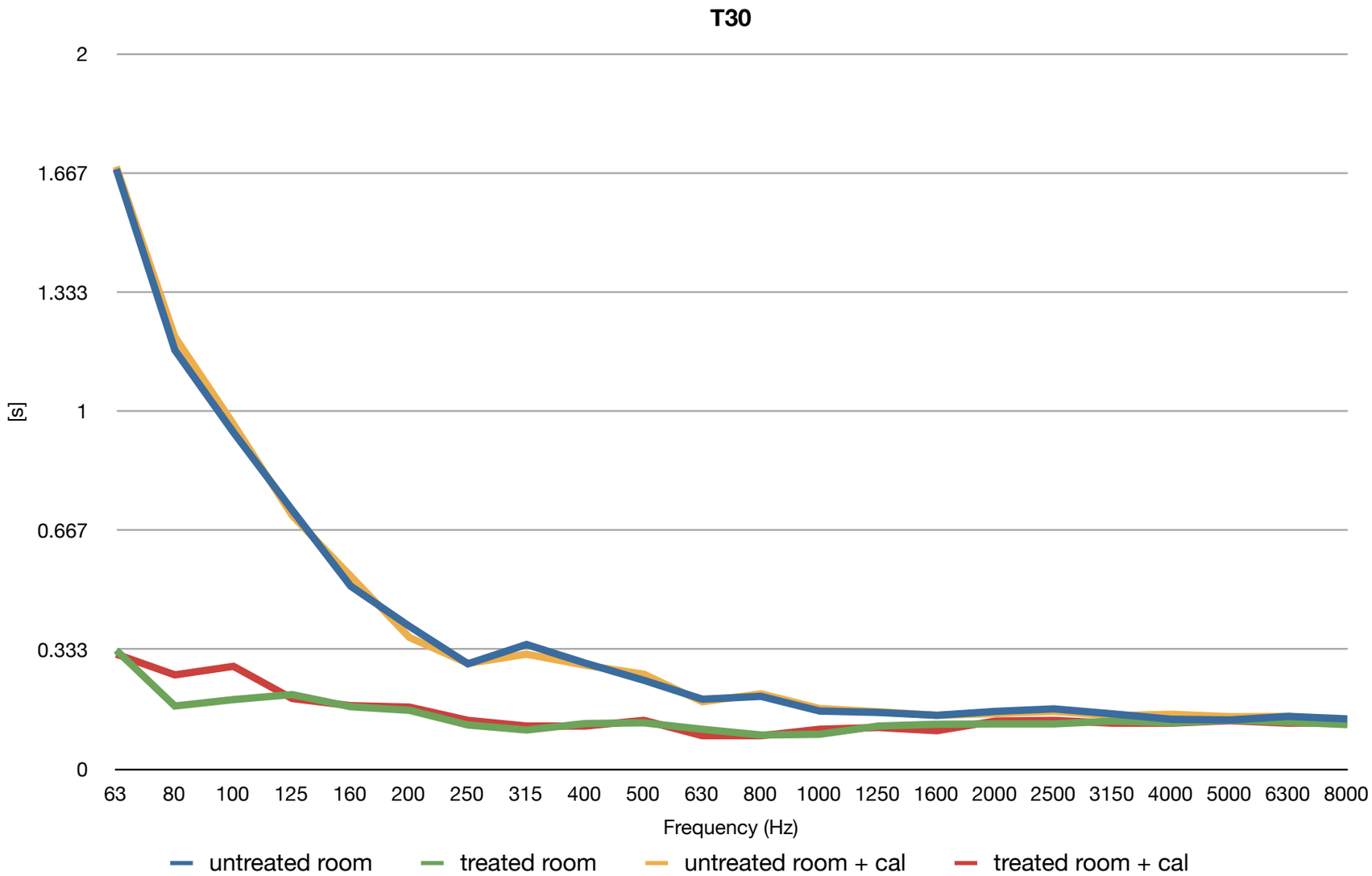
Dalla risposta in frequenza (FR) infatti si possono notare la maggior parte dei problemi, spesso però questi sono sovrapposti tra loro.

Si possono ricondurre a due gruppi di problemi fondamentali:

1. **campo acustico della sala** (coinvolgendo quindi la riverberazione e le onde stazionarie)
    - il campo riverberante sopra i 200 Hz “colora” la FR in maniera molto *smooth*, enfatizzando quelle frequenze per le quali si ha più riflessione da parte delle pareti. Questo tipo di effetto è praticamente uguale in ogni punto della stanza. Le onde stazionarie, i cui effetti si notano principalmente sotto i 200 Hz, influiscono invece in modo molto più aggressivo su alcune singole frequenze, e il risultato sulla FR dipende particolarmente dal punto in cui si trova la sorgente e l’ascoltatore.
2. **fenomeni legati alle prime riflessioni** (*o per meglio dire, all’interazione tra onde dirette e riflesse in generale*) o comunque all’interazione con altre superfici nella stanza.
    - sono molto più piccati per alcune frequenze e dipendono dalla posizione della sorgente e del punto d’ascolto perché si basano sulle distanze tra i percorsi diretto e riflesso del suono.

caso studio

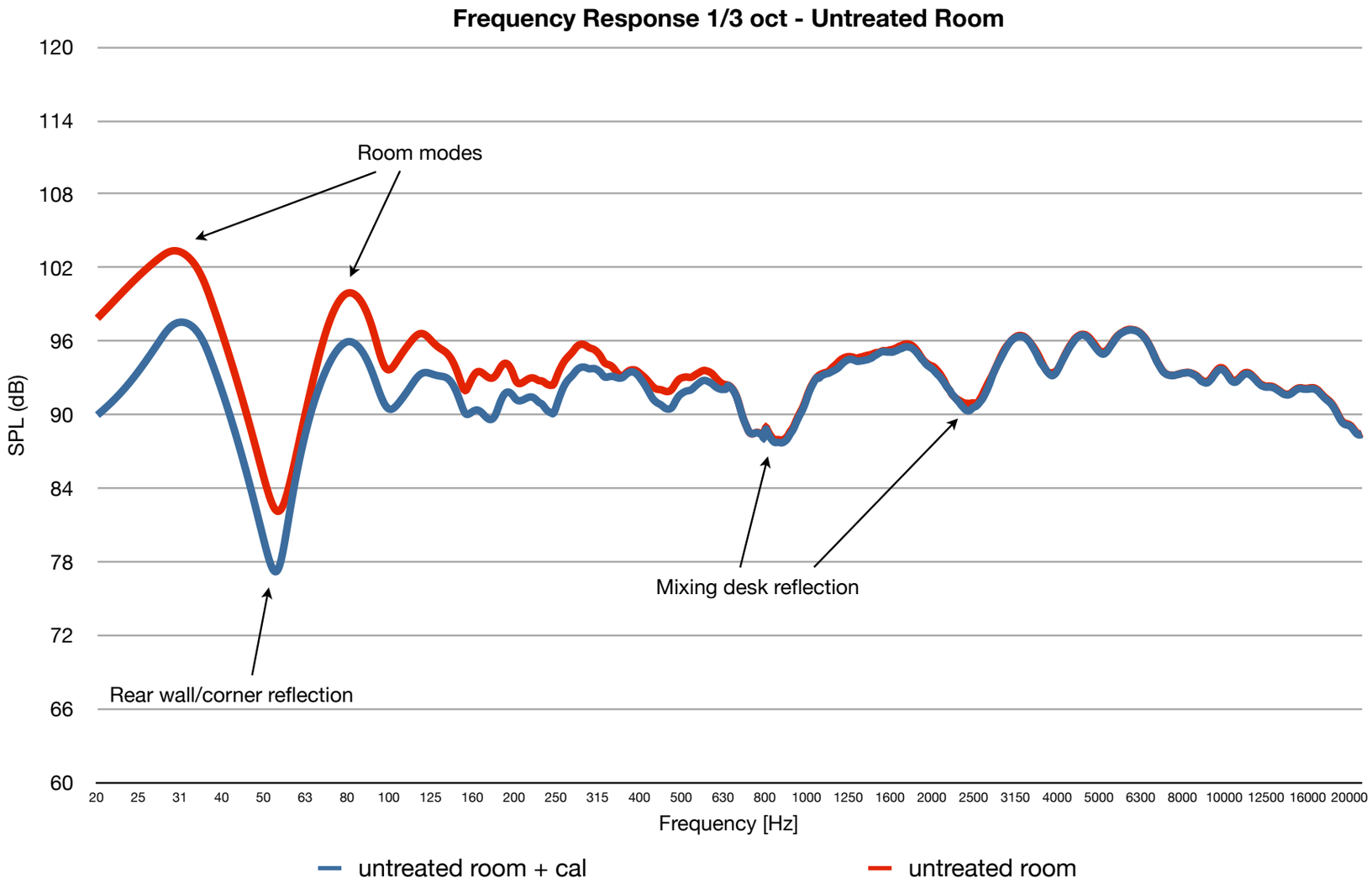
auto-calibrazione di casse identiche in stanze differenti:
la prima trattata e la seconda non trattata acusticamente



la calibrazione praticamente con cambia il T30 (e anche altri parametri tipo il Ts)

caso studio

auto-calibrazione di casse identiche in stanze differenti:
la prima trattata e la seconda non trattata acusticamente



Sala non trattata:

- buca di circa 10 dB @ 53 Hz piuttosto stretta dovuta all'interazione della cassa con l'angolo e la parete sul retro;
- frequenze vicine alla buca erano invece particolarmente enfatizzate (30 e 80 Hz) dai modi di risonanza della stanza;
- *comb filters*, problemi alle frequenze medie e medio alte che un occhio esperto nota con facilità, tuttavia la risposta resta nei ± 3÷4 dB circa tra 200 Hz e 20 kHz a conferma del fatto che una sala non trattata spesso ha una risposta che, se non analizzata attentamente, può sembrare anche "corretta".

caso studio

auto-calibrazione di casse identiche in stanze differenti:

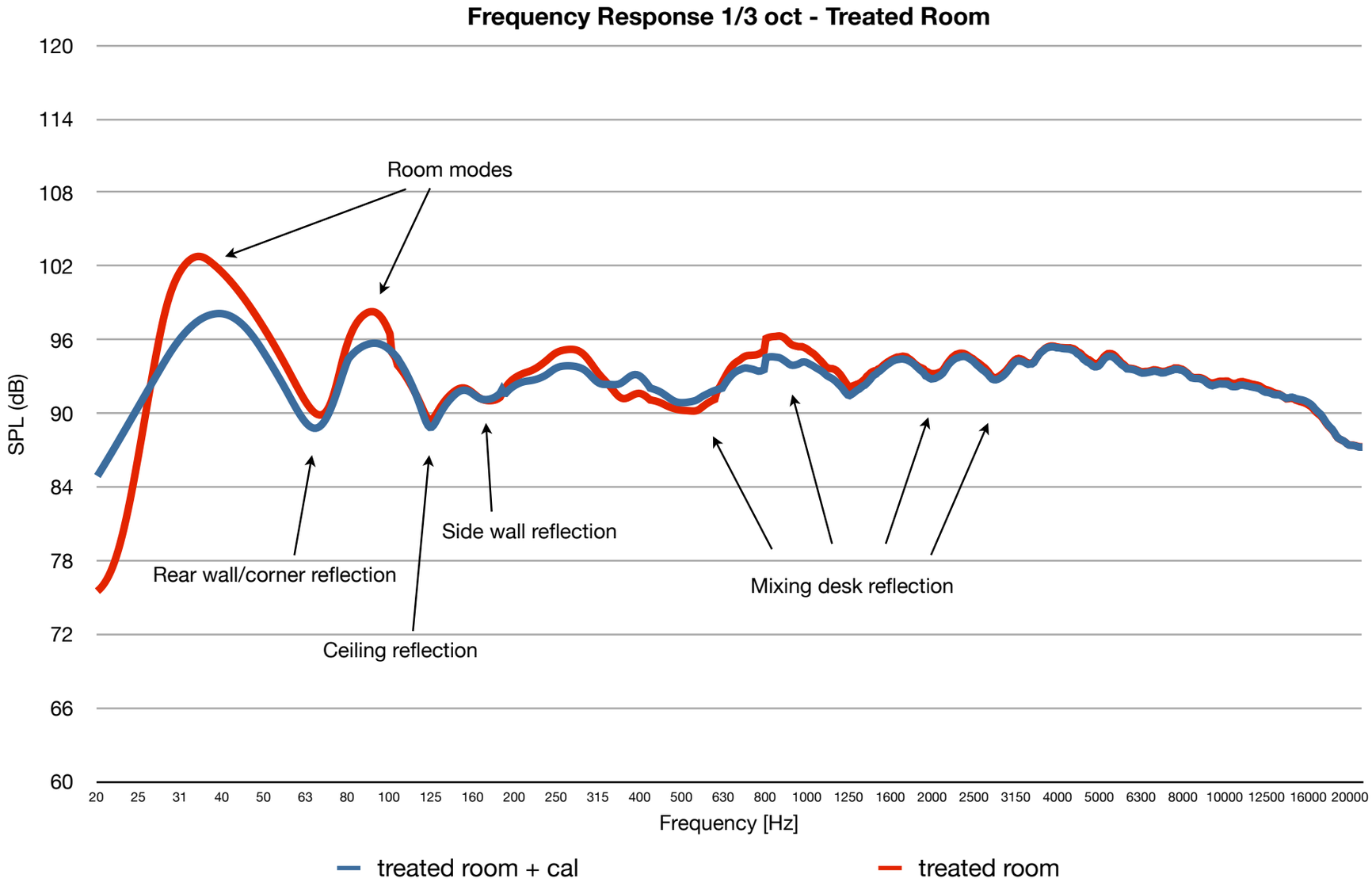
la prima trattata e la seconda non trattata acusticamente

Risultato dell' autocalibrazione nella sala non trattata:

- L'auto-calibrazione riesce a controllare alcune delle riflessioni alle medie frequenze (anche se non riesce a migliorare le riflessioni forti presenti a 800 Hz e i comb filter tra 2-8 kHz) e a bilanciare l'energia sonora sul registro delle basse e medio basse frequenze, rendendo effettivamente l'ascolto più controllato, ma paradossalmente il notch a 53 Hz viene leggermente peggiorato.
- All'ascolto la situazione è migliorata, sembra sicuramente tutto più bilanciato, ad esempio non si nota più il booming della big-drum, ma sulle basse non si ha assolutamente la percezione di cosa succede e a che frequenza, anche perché ricordiamo che il tempo di riverberazione è rimasto ovviamente estremamente lungo.

caso studio

auto-calibrazione di casse identiche in stanze differenti:
la prima trattata e la seconda non trattata acusticamente



Sala trattata:

- Pur trattandosi di una sala di piccole dimensioni, e quindi con modi di risonanza particolarmente ravvicinati in frequenza, è stato effettuato un certo trattamento acustico per controllare le basse frequenze (in particolare sul soffitto, sul retro della sala e sui lati) che porta l'ascolto in generale già a buoni livelli.
- In questo caso l'auto-calibrazione ha portato la sala a dei livelli professionali, migliorando sostanzialmente la linearità sulle medie frequenze (riflessioni del banco e degli outboard) e controllando tutte le risonanze e la minimum phase low frequency boost.

Cosa può migliorare l'auto-calibrazione?

per individuare i problemi tipici e capire come porre rimedio

- molti sistemi di auto-calibrazione funzionano splendidamente nel registro medio alto, mettendo a fuoco le casse e dando la giusta brillantezza anche in situazioni d'ascolto in cui non vi sia la giusta diffusione sulle medio-alte frequenze;
- lavorano molto bene anche per tutti i problemi relativi all'interazione con superfici rigide come le grandi console, e i rack tipici dei piccoli studi moderni pieni di outboard vicini al punto d'ascolto. Questi problemi si presentano generalmente tra 500 ÷ 2000 Hz.
- sulle basse frequenze invece l'efficacia è strettamente relativa al problema. Sicuramente qualsiasi sistema di calibrazione serio lavora molto bene nel contenere le basse frequenze che vengono enfatizzate dalla vicinanza di una superficie rigida come succede quando si accostano le casse al muro o si montano in-wall (in poche parole quando si devono effettuare delle equalizzazioni a minimum phase low frequency boost). Se però sono presenti dei fenomeni a fase non nulla molto forti, come quelli generati dalle riflessioni verso le superfici della stanza l'auto-calibrazione generalmente ha dei problemi.
  In queste situazioni i software di calibrazione si comportano in modo differente, e quelli più "intelligenti" mi sembra che "capiscano" che su alcune cose sia meglio non intervenire.

Dove fare attenzione all'auto-calibrazione?

per individuare i problemi tipici e capire come porre rimedio

- il comportamento modale di una stanza, è strettamente legato al punto di misura.
  In questo caso, l'SPL relativo alla frequenza dell'onda stazionaria passa da un massimo a un minimo (con facili variazioni di 20 dB) magari in pochi cm, e chiaramente, se il nostro sistema di auto-calibrazione si basa sul posizionamento del microfono in un solo punto d'ascolto, forse si riesce a ottimizzare l'ascolto in una zona veramente molto piccola, peggiorandolo nel resto della sala.
- per questi motivi preferisco utilizzare generalmente un sistema multipoint.

Considerazioni aggiuntive!

subwoofer

Dopo tutto quello che è stato detto nelle sezioni precedenti, **se la fase e il livello non sono perfettamente calibrati, è probabilmente meglio non avere un subwoofer**.

Più è “sbagliata” l’acustica di una sala, più è difficile integrare correttamente il subwoofer nel sistema di ascolto. Il nostro orecchio è così impreciso alle basse frequenze (si ricordi che ascoltando un segnale sinusoidale a 35 Hz, per percepire ed ascoltare un qualsiasi cambiamento di livello, la sorgente sonora deve aumentare di almeno 9 dB) che **la corretta integrazione di un subwoofer in una stanza non è realizzabile senza un sistema di misurazione**.

In realtà, molti subwoofer che troviamo nelle sale dei clienti sono completamente fuori controllo. In questo caso l’auto-calibrazione (e in particolare l’auto-fase) è veramente utile.

Grazie

dott. Donato Masci – acoustic designer & consultant
ing. Cecilia Torracchi – civil & acoustic engineer
info@studiosoundservice.com

Scarica la presentazione:
http://www.studiosoundservice.com/it/education

Bibliografia

- D. Masci, A. V. Mäkivirta, “Small multichannel control rooms for broadcast”, Resolution sup. “Small room acoustics” 2015/04;
- D. Masci, “Myths and facts about studio acoustics - part I, Auto-Calibration”, Resolution, 2014/03;
- D. Masci, “Myths and facts about studio acoustics - part II, Monitors in a room”, Resolution, 2014/04;
- D. Masci, “Myths and facts about studio acoustics - part III”, Resolution, 2014/05;
- D. Masci: “Parametri Fisici dell’Acustica Ambientale” thesis in Physics;
- F. A. Everest, K.C. Pohlmann, Master Handbook of Acoustics Fifth Edition, 2009 The McGraw-Hill Companies, Inc.;
- L. E. Kinsler, A. R. Frey, A. B. Coppens, J. V. Sanders, Fundamentals of Acoustics – 4th ed, New York, John Wiley and Sons.
- Y. Ando, Architectural Acoustics, Springer-Verlag New-York Inc., 1998;
- T.J. Cox, P. D’Antonio: “Acoustic Absorbers and Diffusers - Theory, design and application” 2nd ed.;
- P. Newell, Recording Studio Design, 3rd edition, Focal Press, 2013;
- I. Martikainen, N. Zacharov, Studio monitor midrange and high frequency performance, Genelec OY, 1997;
- A. V. Mäkivirta, C. Anet, A Survey Study Of In-Situ Stereo And Multi-Channel Monitoring Conditions, AES Convention Paper, 111th Convention 2001 September 21–24 New York, NY, USA;
- Roger d’Arcy, Hugh Flynn, “RA: The Book, The Recording Architecture Book of Studio Design”, Black Box Limited, London, 2011.
- A. Watson, “Cultural Production in and Beyond the Recording Studio”, NY, Routledge Studies in Human Geography, 2015.
- C. Small, “Musicking: The Meanings of Performing and Listening”, London, Wesleyan University Press, 1998.