

EVENTO FINALE PROGETTO RICREA  
25 luglio 2024

## Utilizzi dei materiali vegetali: l'isolamento termo-acustico degli edifici

**Lucia BUSA**

Architetto e Dottore di Ricerca - Tecnico competente in acustica



REGIONE MARCHE

GIUNTA REGIONALE  
SERVIZIO POLITICHE  
AGROALIMENTARI

## **RICREA**

**“Circular Economy: valorisation  
of residual straw for the  
production of innovative, bio-  
based, compostable and  
biodegradable packaging”**

Economia Circolare: valorizzazione  
della paglia residuale per la  
produzione di packaging innovativo,  
bio-based, compostabile e  
biodegradabile

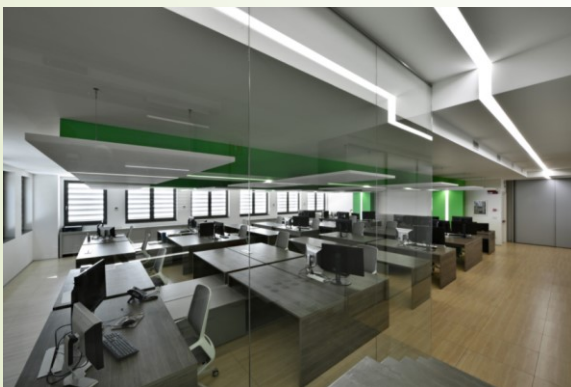
ID 41421

## Inquadramento della problematica – COMFORT ACUSTICO

Le esigenze sono diverse in funzione della destinazione d'uso...



Principali tipologie di ambienti in  
cui è importante l'ascolto del  
**parlato**





## Inquadramento della problematica – COMFORT ACUSTICO

Le esigenze sono diverse in funzione della destinazione d'uso...



Principali tipologie di ambienti in  
cui è importante l'ascolto della  
**musica**



## Inquadramento della problematica - COMFORT ACUSTICO

### RISTORANTI E LOCALI PUBBLICI

#### PROBLEMATICHE ACUSTICHE

- La **contemporanea presenza di più persone** che parlano.
- Il **tono di voce relativamente alto** dei frequentatori.
- La frequente presenza di **musica di sottofondo**.
- Rumori di **apparecchiature**.

#### EFFETTI DELLA CATTIVA QUALITÀ ACUSTICA

- Incremento di **livello di rumore di fondo**.
- Incremento dello **sforzo fonatorio** da parte dei frequentatori (ISO 9921).
- Incremento dello **sforzo di ascolto** (ISO 9921).
- Senso di **disagio** con possibile insorgenza di disturbi quali cefalea, minore tempo trascorso nel ristorante, ecc.

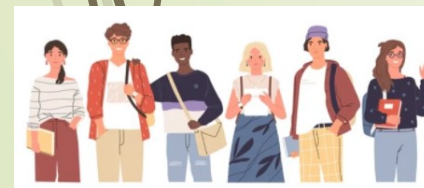




# Inquadramento della problematica - COMFORT ACUSTICO

## SCUOLE E LUOGHI DESTINATI ALL'APPRENDIMENTO

### ALLIEVI



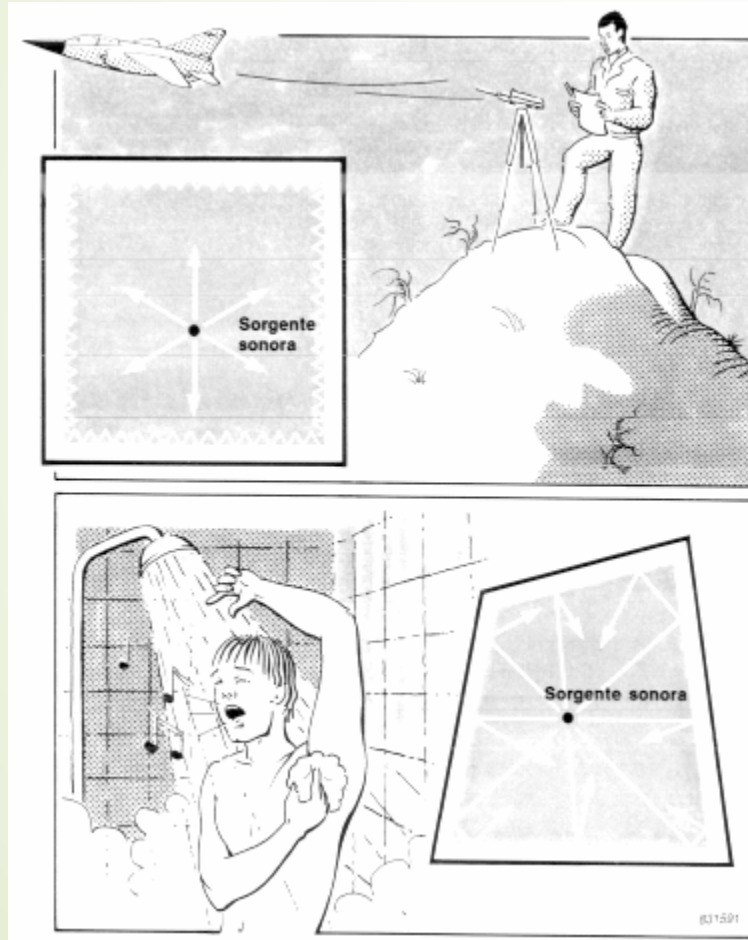
- **Aspetti neuro-comportamentali**
  - ✓ Rabbia, ostilità, aggressività verbale (peggioramento delle relazioni)
  - ✓ Disturbi della condotta
  - ✓ Iperattività
- **Aspetti percettivo-cognitivi**
  - ✓ Sforzo di ascolto
  - ✓ Riduzione delle le capacità cognitive (lettura, scrittura)
  - ✓ Scarsa memoria
  - ✓ Maggiore tempo di esecuzione
  - ✓ Deficit dell'attenzione prolungata e visiva, estraneamento
- **Aspetti legati alla salute**
  - ✓ Ansia e depressione
  - ✓ Riduzione della durata e della qualità del sonno

### DOCENTI



- Maggiore sforzo vocale (effetto Lombard) con conseguenze sull'apparato fonatorio.
- Sensazione di affaticamento e spossatezza.
- Minori prestazioni nei compiti cognitivi.
- Reazioni incontrollate.
- Percezione di una cattiva gestione della classe.
- Minore motivazione e fiducia in se stessi e nel proprio lavoro.
- Maggiore stress (sindrome da burnout).
- Generale diminuzione del benessere psico-fisico.

## Inquadramento della problematica – PROPAGAZIONE DEL SUONO



Fonte: materiale divulgativo Bruel & Kjaer



### Campo libero

In un **campo libero** il suono si propaga senza alcuna riflessione. Questa situazione si verifica in alcune condizioni all'aperto o in una camera anecoica: pareti, soffitto e pavimento sono ricoperti da materiale fortemente assorbente per eliminare le riflessioni.



### Ambiente confinato

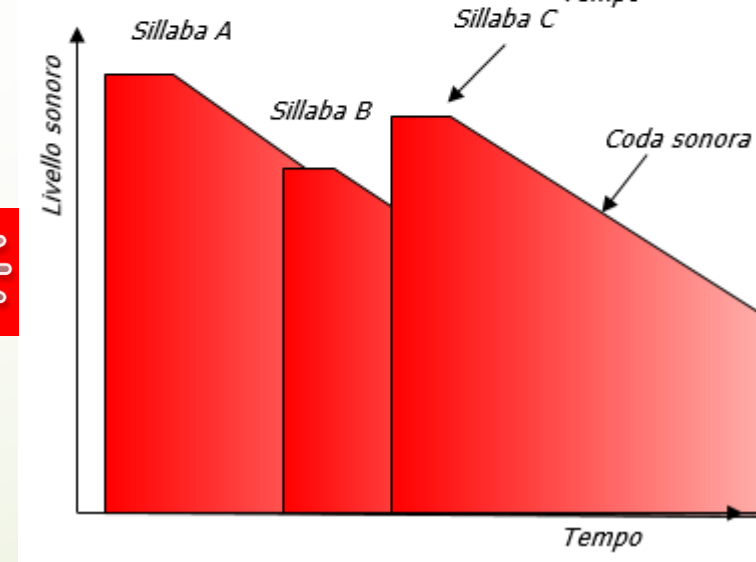
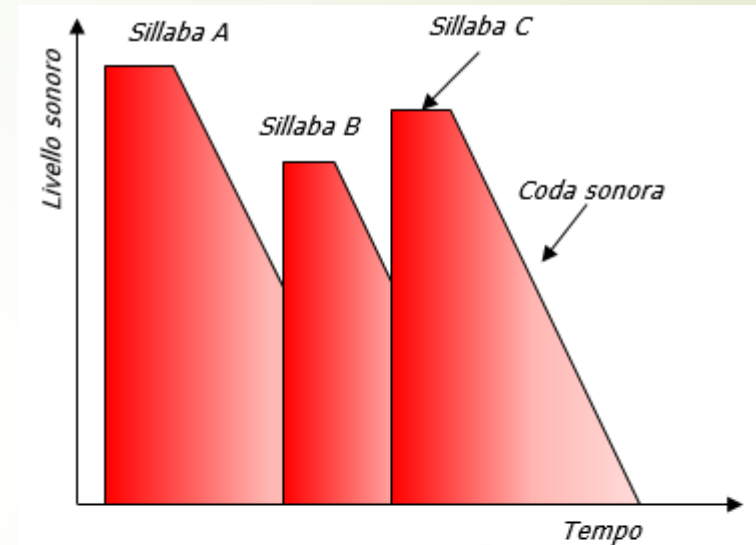
In un **ambiente confinato** (campo diffuso) il suono viene riflesso ripetutamente e si sposta in tutte le direzioni: l'energia sonora viene quindi uniformemente distribuita attraverso la stanza. Questa situazione si verifica in una camera riverberante: le superfici sono ricoperte da materiali il più possibile riflettenti con superfici irregolari.

## Inquadramento della problematica – PROPAGAZIONE DEL SUONO

La riverberazione sonora può ridurre la comprensione del parlato e la percezione della musica e dei suoni.

Si può immaginare la voce come una successione di eventi sonori (sillabe) che si susseguono ad intervalli di circa 4-5 sillabe per secondo.

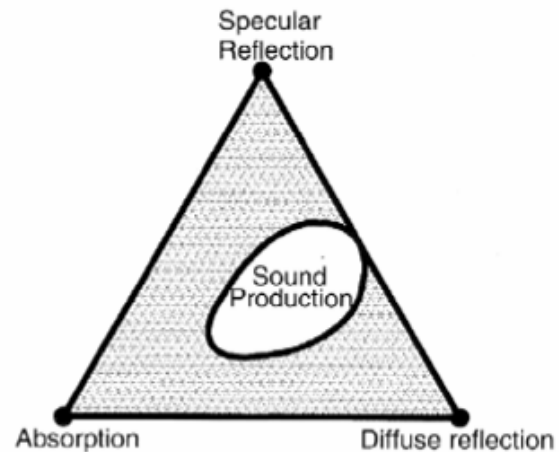
La coda riverberante di una sillaba «investe» le sillabe che seguono, pertanto parte della parola viene «mascherata» e risulta non più comprensibile.



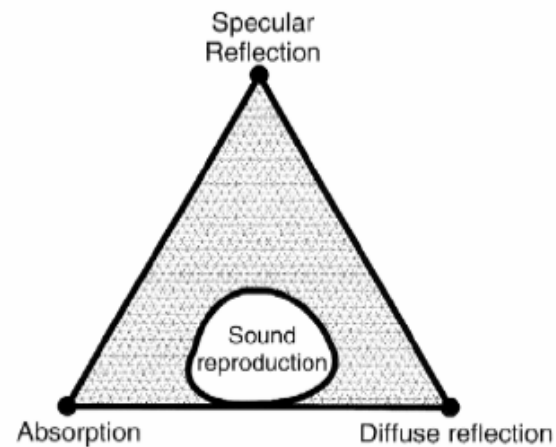


## PROGETTAZIONE ACUSTICA

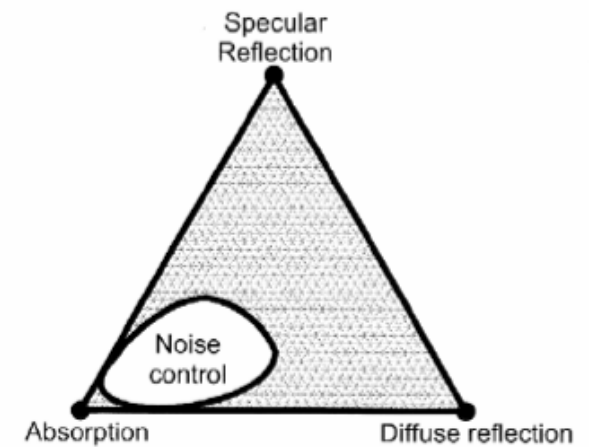
Una buona progettazione acustica richiede il giusto volume, la forma corretta e la scelta del trattamento acustico delle superfici, che deve essere una appropriata combinazione e posizionamento di materiali fonoassorbenti, riflettenti e diffondenti.



Sale da concerto  
Teatri d'opera  
Teatri di prosa  
Auditorium  
Sale conferenza  
Luoghi di culto



Studi di registrazione  
Studi radiofonici  
Home theatres

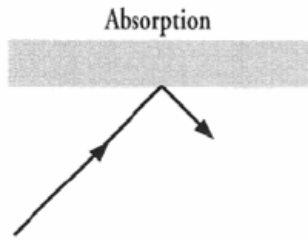


Ambienti industriali  
Palestre  
Piscine  
Biblioteche  
Foyer - Atri

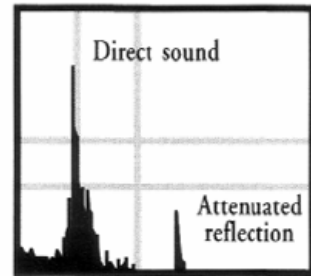


# PROGETTAZIONE ACUSTICA

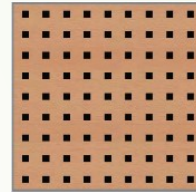
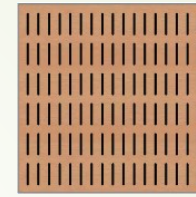
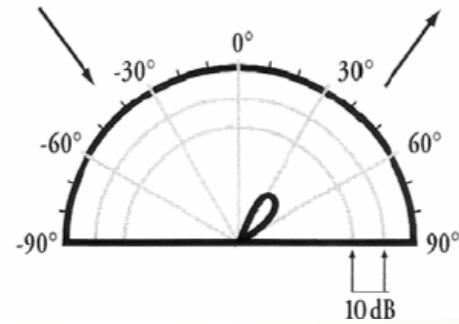
Acoustical treatment



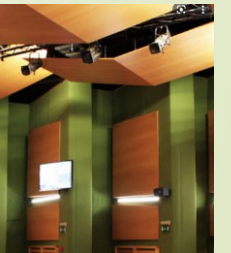
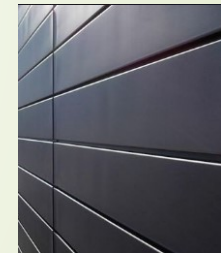
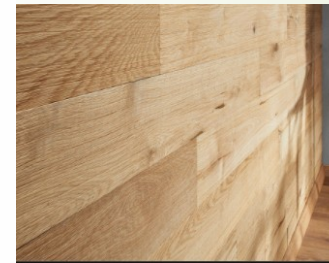
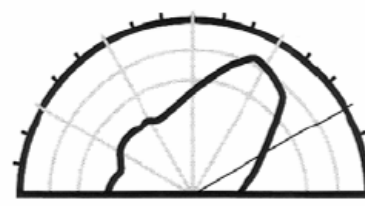
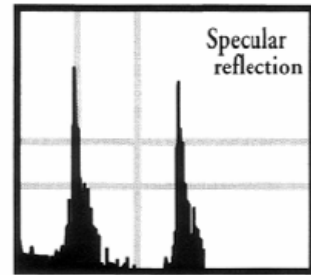
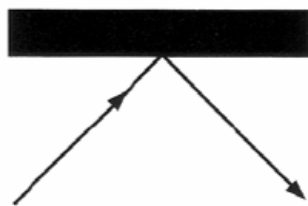
Temporal response



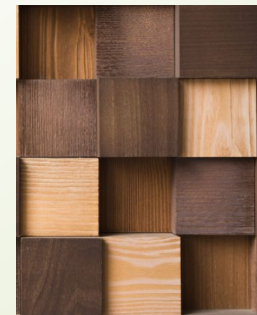
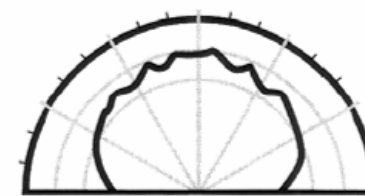
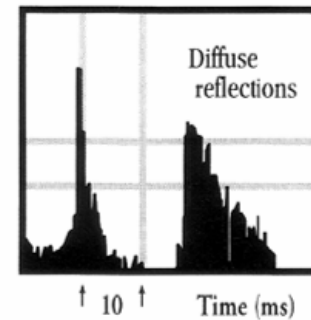
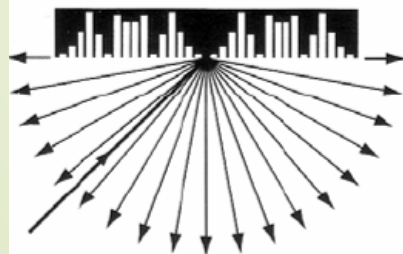
Spatial response



Reflection



Diffusion



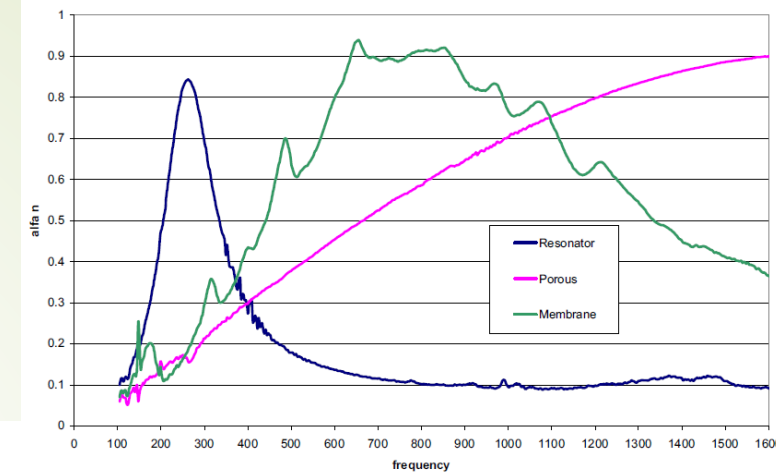
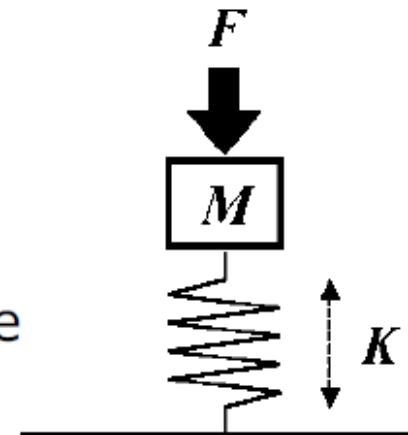
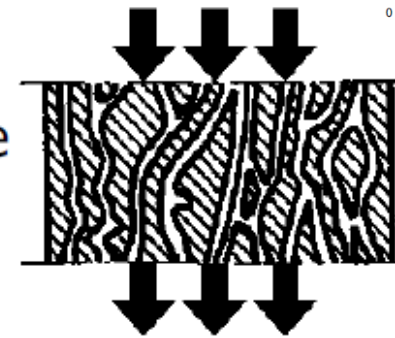
# MATERIALI ACUSTICI

## ➤ Assorbimento per POROSITÀ:

fenomeno dissipativo legato all'attrito viscoso che si genera tra struttura del materiale e particelle d'aria in moto (la struttura può essere rigida oppure elastica)

## ➤ Assorbimento per RISONANZA DI CAVITA' E DI MEMBRANA:

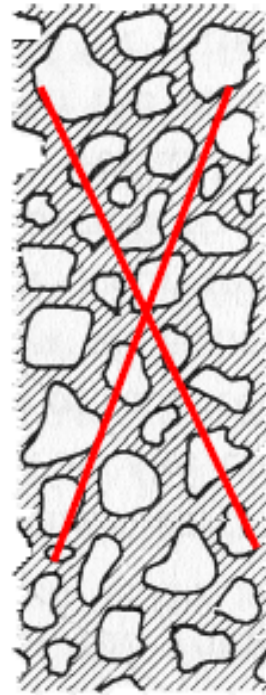
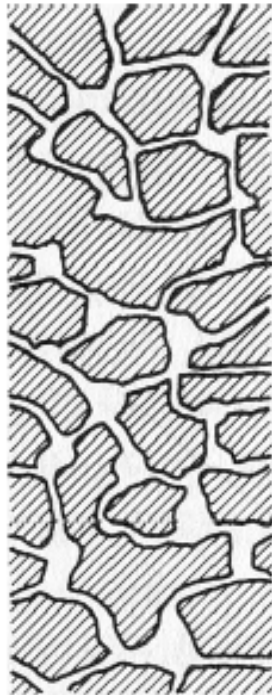
dissipazione di energia dovuta allo smorzamento dell'oscillazione che si genera alla risonanza (della massa d'aria parzialmente confinata o di una superficie vibrante sollecitata da onde sonore incidenti su di essa)



## MATERIALI ACUSTICI

- Contengono una elevata percentuale di aria al loro interno, in collegamento con l'ambiente esterno (materiali fibrosi e porosi a cella aperta)
- Consentono al campo acustico di penetrare al loro interno e di dissipare energia per attrito viscoso sulle pareti della struttura del materiale

**SI**



**NO**

Esempio:

Polietilene,  
poliuretani a cella  
chiusa, polistirolo

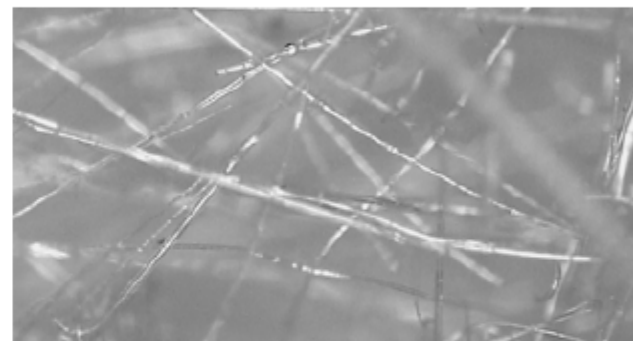


## MATERIALI ACUSTICI

- Sono i primi ad essere stati utilizzati, sin dall'antichità (Aristotele-*Problemata*: descrive l'effetto della paglia nei teatri antichi)
- Sono costituiti da fibre di diversa natura tra loro unite con leganti chimici o trattamenti fisici

### Alcuni materiali fibrosi:

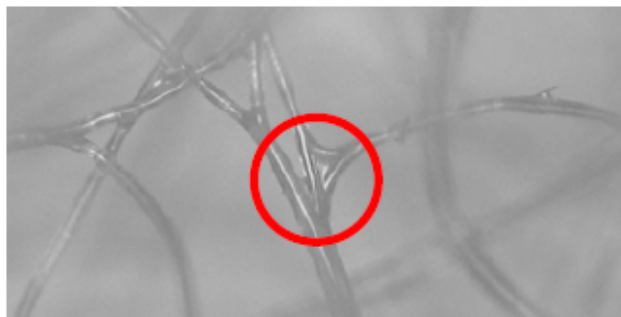
- Lana di roccia
- Lana di vetro
- Fibre di poliestere
- Feltri (fibre tessili riciclate)
- Fibre di acido polilattico (mais)
- ➔ • Fibre vegetali (cotone, canapa, cocco, legno, cellulosa ecc.)
- Fibre animali (lana di pecora, piume d'oca, ecc.)



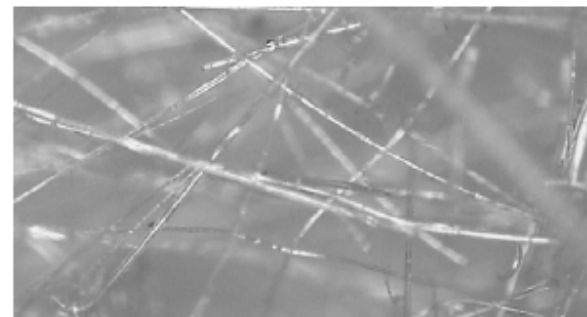
- La prestazione acustica non rappresenta l'unica variabile in gioco nella scelta del prodotto, ma concorre insieme a prezzo, classe al fuoco, peso specifico, igienicità, aspetto esteriore, ecosostenibilità

## MATERIALI ACUSTICI

<i>Materiale</i>	<i>Diametro medio delle fibre mm</i>	<i>Densità caratteristiche Kg/m<sup>3</sup></i>	<i>Settori di impiego prevalente</i>
Lana di roccia	4-8	40-100	Edilizia
Lana di vetro	1-5	20-40	Edilizia
Fibre di poliestere	20-40	10-60	Edilizia, trasporti, industria
Feltri (fibre tessili riciclate)	<i>varie</i>	20-100	Trasporti, elettrodomestici



**FIBRE DI POLIESTERE**



**FIBRE DI ROCCIA**

## MATERIALI ACUSTICI DI ORIGINE VEGETALE

<i>Materiale</i>	<i>Diametro medio delle fibre mm</i>	<i>Densità caratteristiche Kg/m<sup>3</sup></i>	<i>Settori di impiego prevalente</i>
<i>legno, canapa, lana, lino, cocco, cotone...</i>	<i>varie</i>	10-80	Bioedilizia



**COCCO**



**LEGNO**



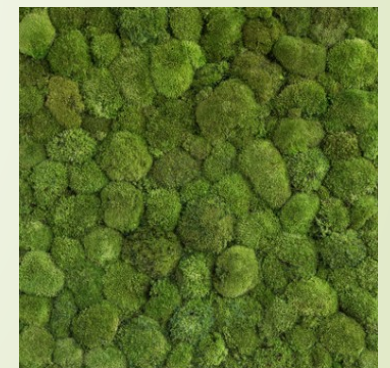
**CANAPA**



**LEGNO CEMENTO**



**SUGHERO**

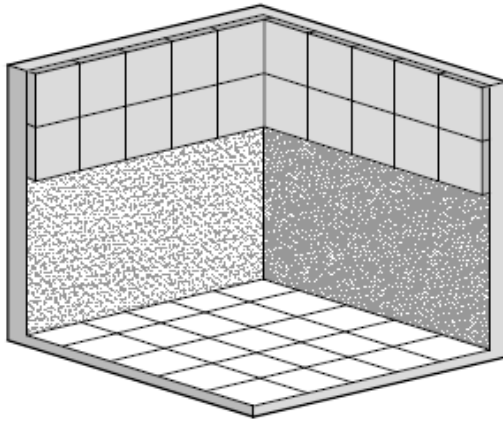


**LICHENI**

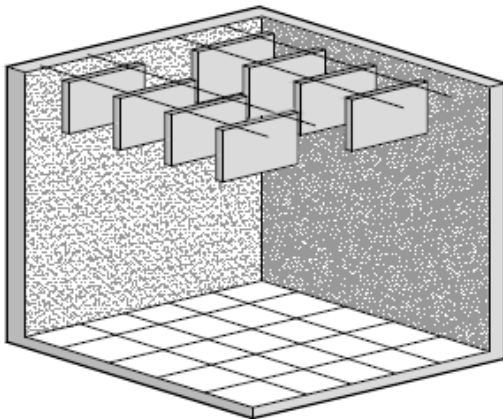


# MATERIALI ACUSTICI DI ORIGINE VEGETALE

## pannelli (bidimensionali)

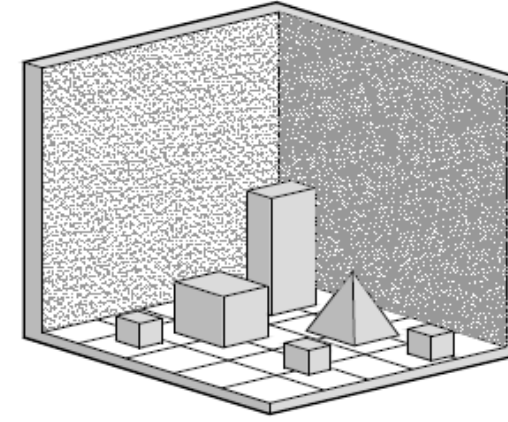


pannelli a  
parete

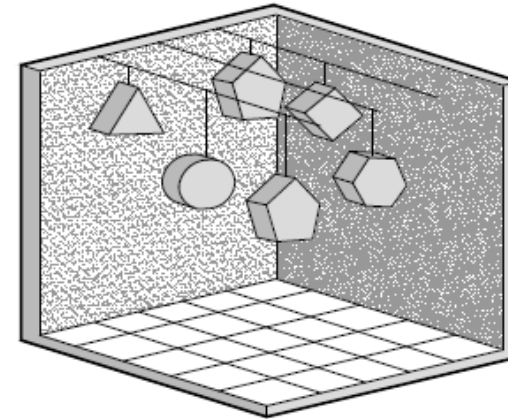


pannelli a  
soffitto

## volumi (tridimensionali)



volumi  
a pavimento



volumi a  
soffitto

# MATERIALI ACUSTICI DI ORIGINE VEGETALE

Pannello isolante termico ed acustico, in lana di legno di abete rosso mineralizzata e legata con cemento Portland bianco.

Tipo di pannello <sup>1</sup>	Specifiche di prova <sup>2</sup>			Assorbimento acustico						
	Spessore [mm]	MW [mm]	TH [mm]	125	250	Frequenze $\alpha_p$ [Hz]				$\alpha_w$
gamma CELENIT ACOUSTIC										
CELENIT AB	15		15	0,05	0,10	0,20	0,35	0,75	0,60	0,30 (H)
CELENIT AB	25		25	0,10	0,20	0,40	0,85	0,80	0,85	0,45 (M-H)
CELENIT AB	35		35	0,15	0,25	0,50	0,95	0,70	0,85	0,50 (M-H)
CELENIT AB	50		50	0,15	0,30	0,65	0,95	0,70	0,85	0,60 (M-H)
CELENIT ABE	15		15	0,05	0,10	0,25	0,45	0,80	0,65	0,30 (H)
CELENIT ABE	25		25	0,10	0,20	0,35	0,70	0,85	0,85	0,40 (M-H)
CELENIT ABE	35		35	0,10	0,25	0,45	0,85	0,70	0,95	0,50 (M-H)
gamma CELENIT ACOUSTIC A2										
CELENIT AB/A2	25		25	0,10	0,20	0,40	0,80	0,80	0,85	0,45 (M-H)
CELENIT ABE/A2	25		25	0,10	0,15	0,25	0,45	0,75	0,60	0,35 (H)

	Indicatori
Risorse vergini rinnovabili	Legno proveniente da foreste gestite in modo sostenibile.
Salute umana	I prodotti ed i loro componenti non sono pericolosi per la salute umana. I prodotti presentano un Indice di Radioattività (I) inferiore al valore di controllo.
Qualità dell'ecosistema	I prodotti ed i loro componenti non sono pericolosi per l'ambiente. Processo produttivo con ridotto consumo energetico, minori emissioni in atmosfera.

Logo e  
Indicazioni di  
conformità:

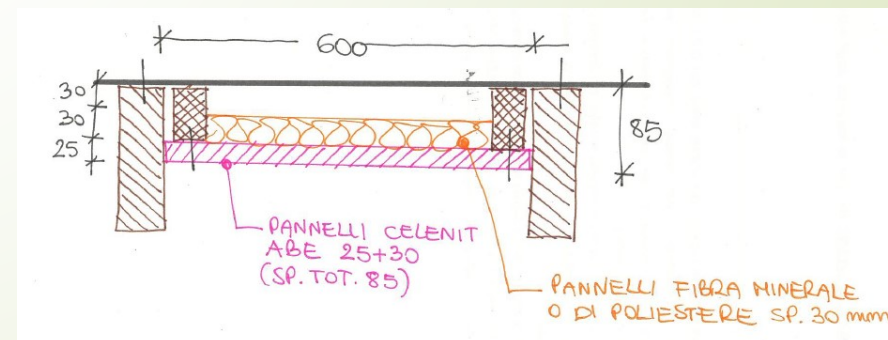
MATERIALI PER LA BIOEDILIZIA  
Conformi ai requisiti del  
MAT\_BIOEDIL.01 Ed.00 Rev.05 e  
MAT\_BIOEDIL.09 Ed.00 Rev.01





# MATERIALI ACUSTICI DI ORIGINE VEGETALE

BIO'S KITCHEN, RIMINI (prog. architettonico Archinow, prog. acustico Vie en.ro.se. Ingegneria)



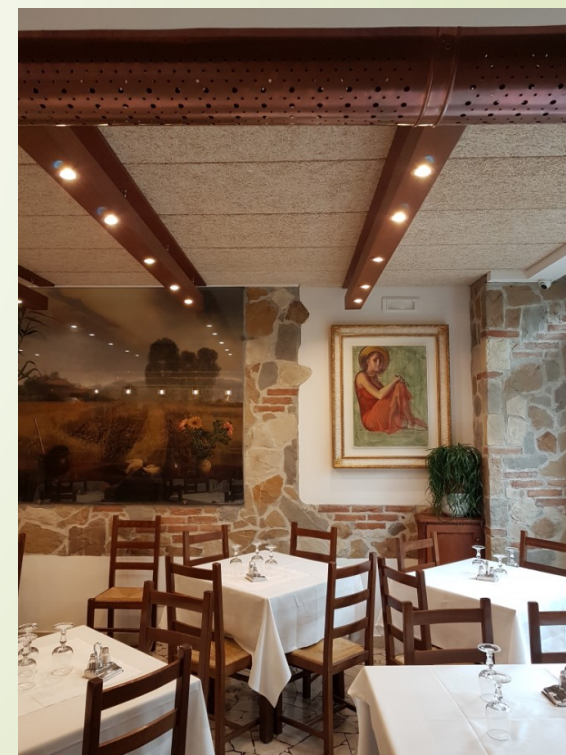
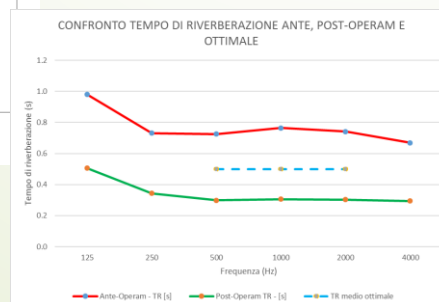
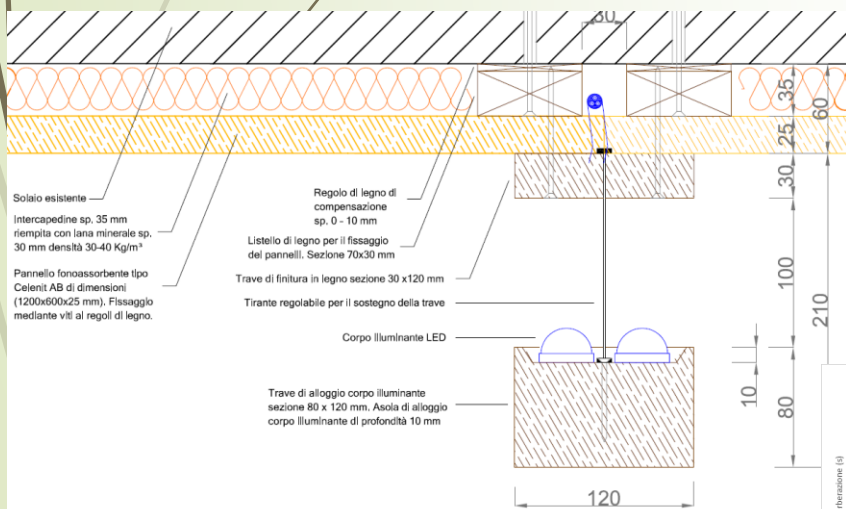
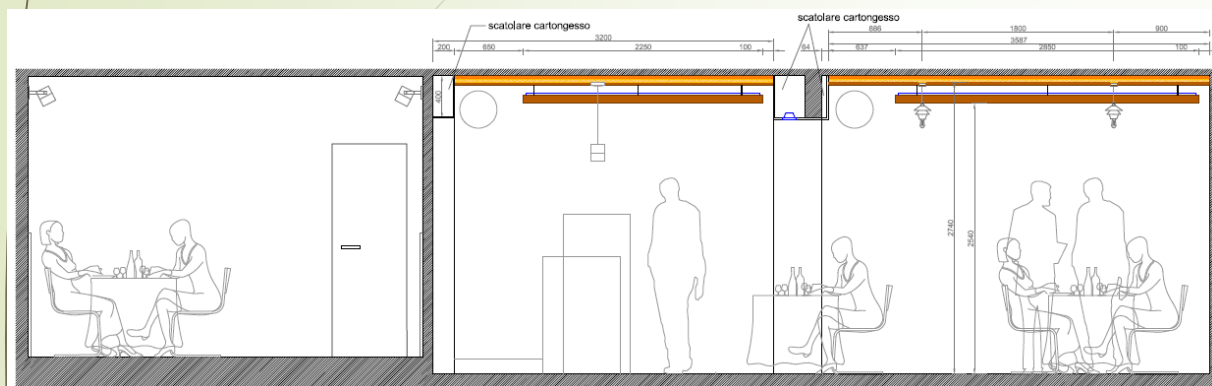
$T_{500-2000 \text{ Hz}} = 1.05 \text{ s (ANTE)}$

$T_{500-2000 \text{ Hz}} = 0.45 \text{ s (POST)}$



# MATERIALI ACUSTICI DI ORIGINE VEGETALE

RISTORANTE I BRIGANTI, Firenze (prog. architettonico e acustico Vie en.ro.se. Ingegneria)





## MATERIALI ACUSTICI DI ORIGINE VEGETALE

Pannello stratificato in pioppo+listellare abete da piantagioni rinnovabili (spessore 15 mm), sul quale viene composta e assemblata a mano una copertura uniforme e molto fitta di vegetale stabilizzato, rivestimento sempreverde realizzato con Cladonia Arbuscula.

Lo spessore totale del manufatto è 60-65 mm. La colorazione dello strato vegetale è terminata in fase di stabilizzazione utilizzando solo coloranti naturali (tannini di origine vegetale). Non sono presenti sostanze tossiche o nocive per l'uomo, e non sono soggetti a sbiadimento nel tempo.

volume nagalmkamer: 214 m<sup>3</sup>

oppervlak monster: 10,8 m<sup>2</sup>

opbouwhoogte: m

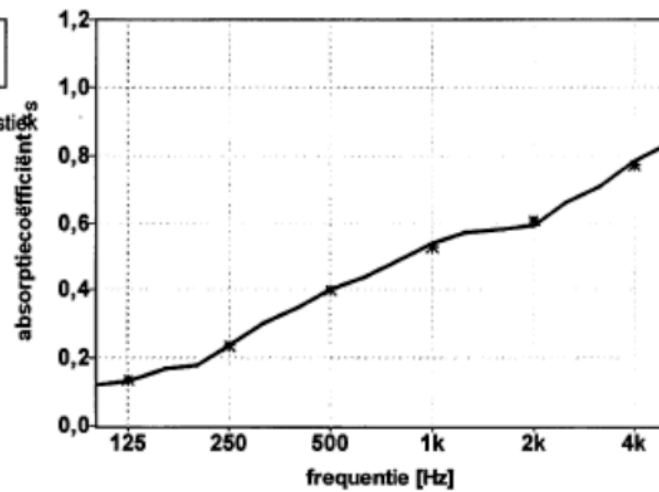
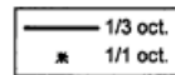
gemeten in: Peutz Laboratorium voor Akoestiek

signaal: breedband ruis

bandbreedte: 1/3 octaaf

$\alpha_w$  (ISO 11654) = 0,45(H)

NRC (ASTM - C423) = 0,45



	125	250	500	1k	2k	4k
1/3 oct.	0,12	0,18	0,35	0,49	0,58	0,71
	0,13	0,24	0,40	0,54	0,59	0,78
	0,17	0,30	0,44	0,57	0,66	0,83
1/1 oct.	0,14	0,24	0,40	0,53	0,61	0,77





## MATERIALI ACUSTICI DI ORIGINE VEGETALE



## Sound Absorption TEST REPORT

Customer:	Company:	Greenworks AB
	Address:	Storgatan 1
	City:	114 44 STOCKHOLM
Component:	Object:	Vertical Garden – 7 months after plantation
	Mounting:	Type A, as described on page 3 in this report
	Test Area:	8.1 m <sup>2</sup>
Measurement Dates:	Empty Room:	21-08-18
	Component Installed:	22-04-11
Method:	Reverberation time measurements were made using the integrated impulse response method described in ISO 354, details on page 5	
Standards:	SS-EN ISO 354:2003	Measurement of sound absorption in a reverberation room
	SS-EN ISO 3382-2:2008 +AC:2009	Measurement of room acoustic parameters – Part 2: Reverberation time in ordinary rooms
	SS-EN ISO 12999-2:2020	Determination and application of measurement uncertainties in building acoustics – Part 2: Sound absorption
	SS-EN ISO 11654:1997	Sound absorbers for use in buildings – Rating of sound absorption

### Result of test:

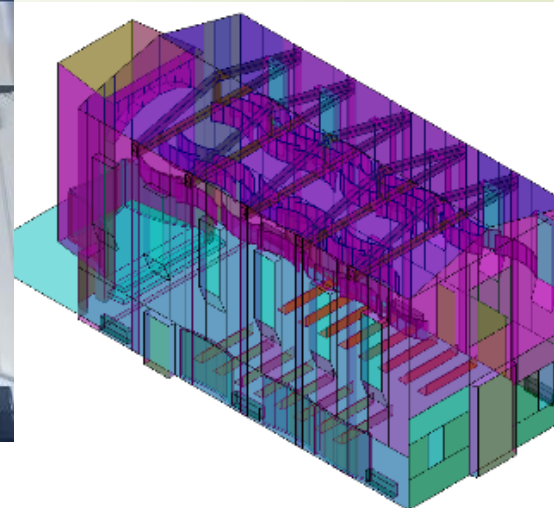
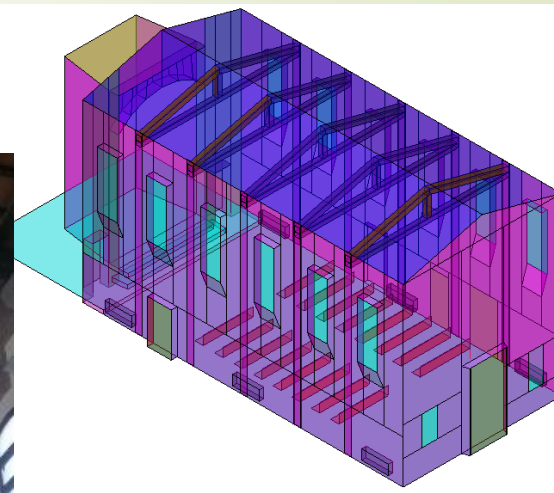
1/1 octave Sound Absorption Coefficients  $\alpha_s$ :

Hz	125	250	500	1000	2000	4000
$\alpha_s$	0.60	0.70	0.80	1.00	1.00	0.90

Weighted Sound Absorption Coefficient  $\alpha_w$ : 0.90  
Sound Absorption Class: A



## CASO STUDIO – AUDITORIUM LEGAMBIENTE



## CASO STUDIO – AUDITORIUM LEGAMBIENTE

Il progetto di correzione acustica della chiesa prevede la realizzazione di **tre interventi differenti** di seguito riassunti:



← rivestimento fonoassorbente della parete di fondo della chiesa mediante un **rivestimento fonoassorbente vegetale**;

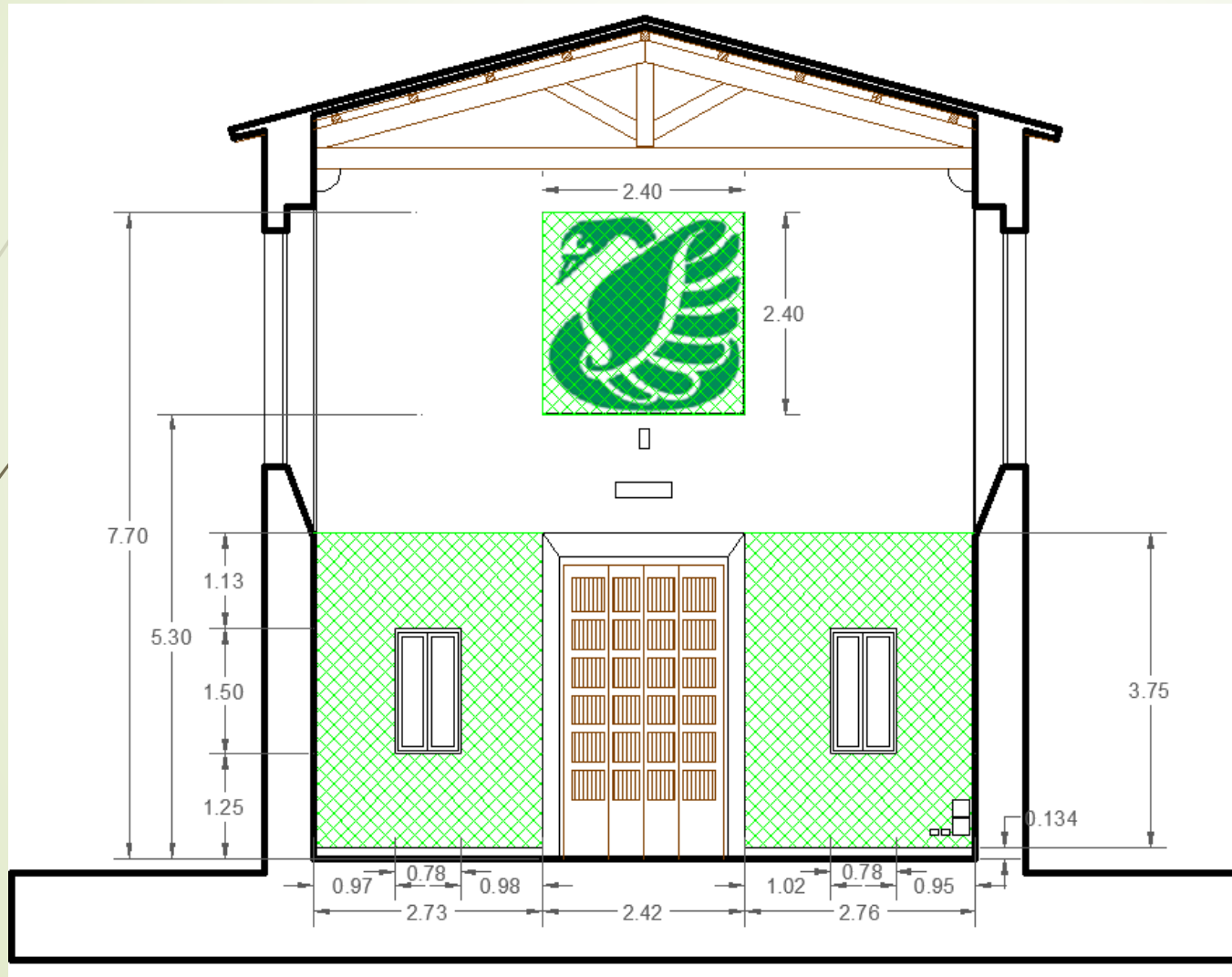


← installazione di **pannelli fonoassorbenti sospesi al soffitto**;



← posizionamento di **pannelli mobili riflettenti/fonoassorbenti** di rivestimento delle pareti laterali e/o di separazione acustica tra le possibili sub-aree.

## CASO STUDIO – AUDITORIUM LEGAMBIENTE



Rivestimento  
fonoassorbente vegetale

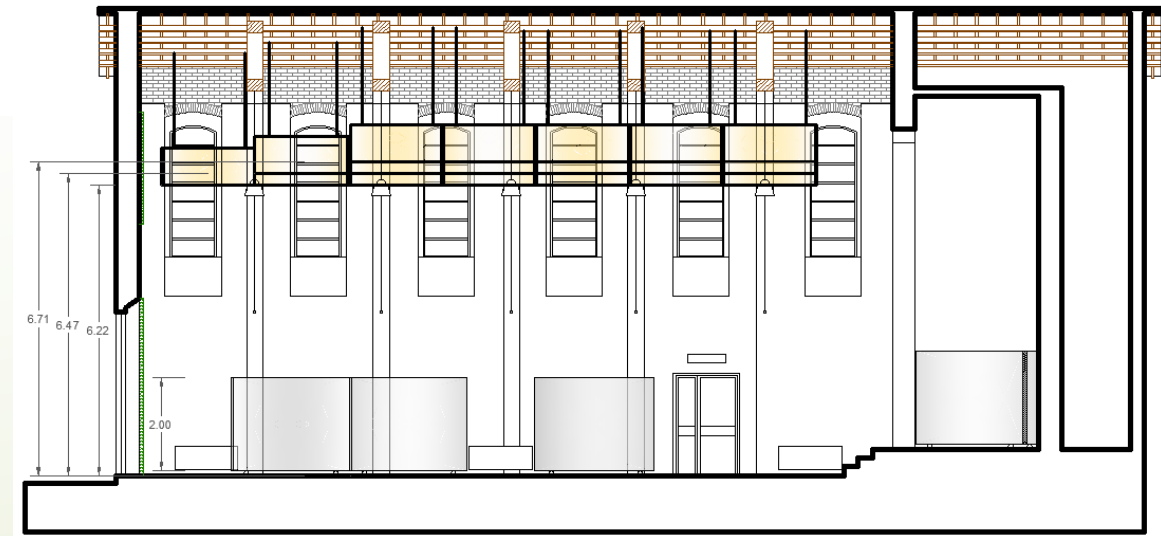
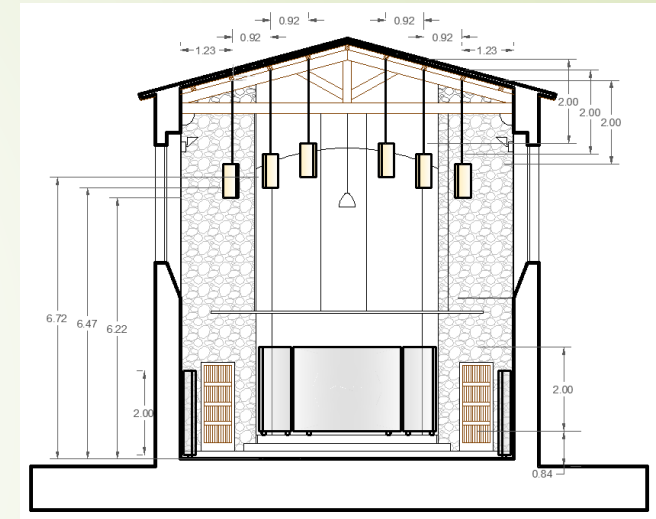
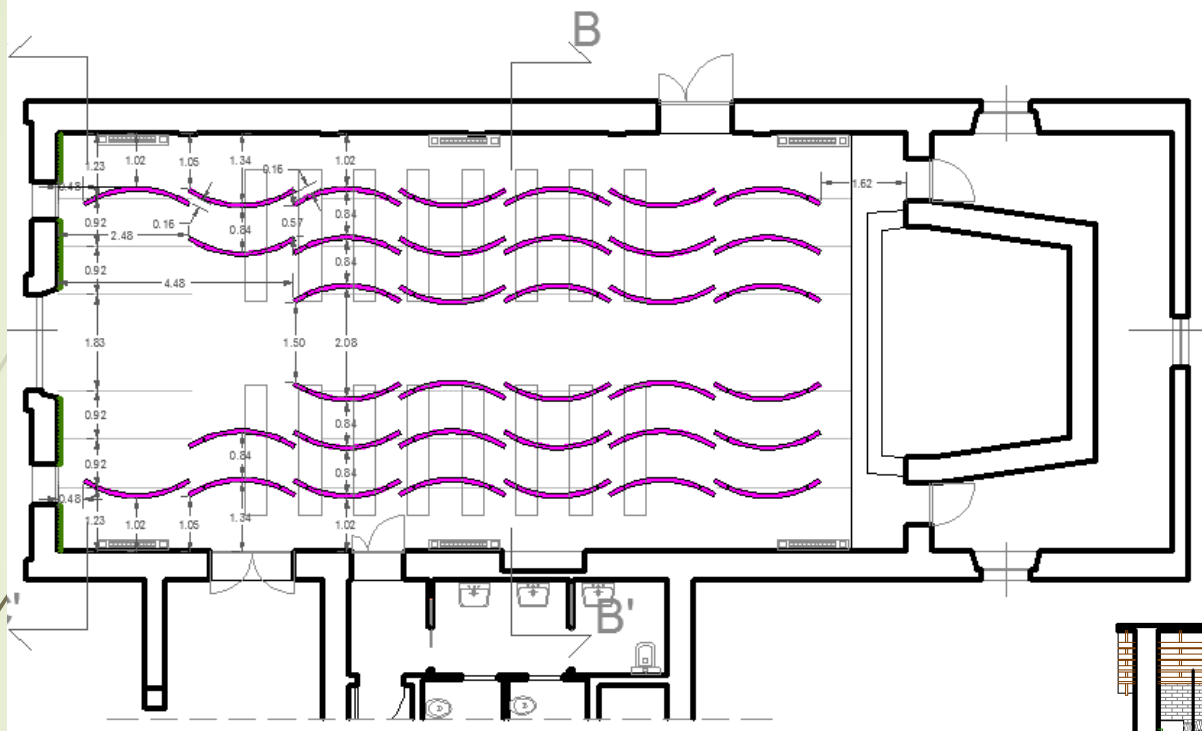
- pannello stratificato in pioppo+listellare abete (spess.15mm);
- copertura uniforme di vegetale stabilizzato di spessore pari a circa 50 mm.
- $\alpha_w = 0.45$



## CASO STUDIO – AUDITORIUM LEGAMBIENTE



## CASO STUDIO – AUDITORIUM LEGAMBIENTE

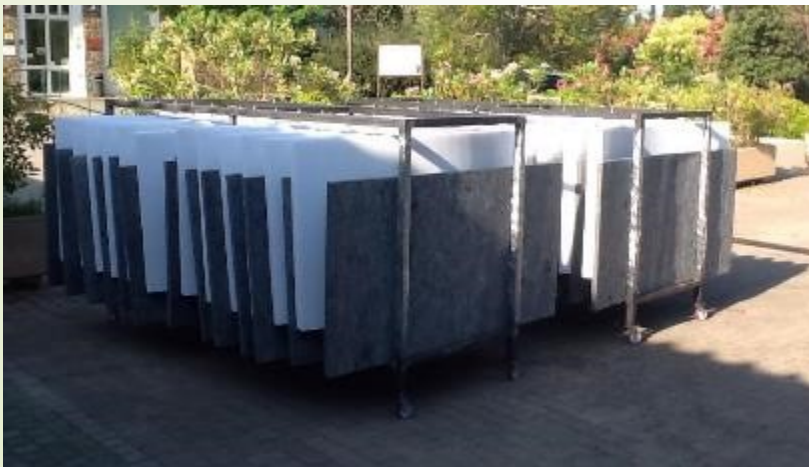




1.00



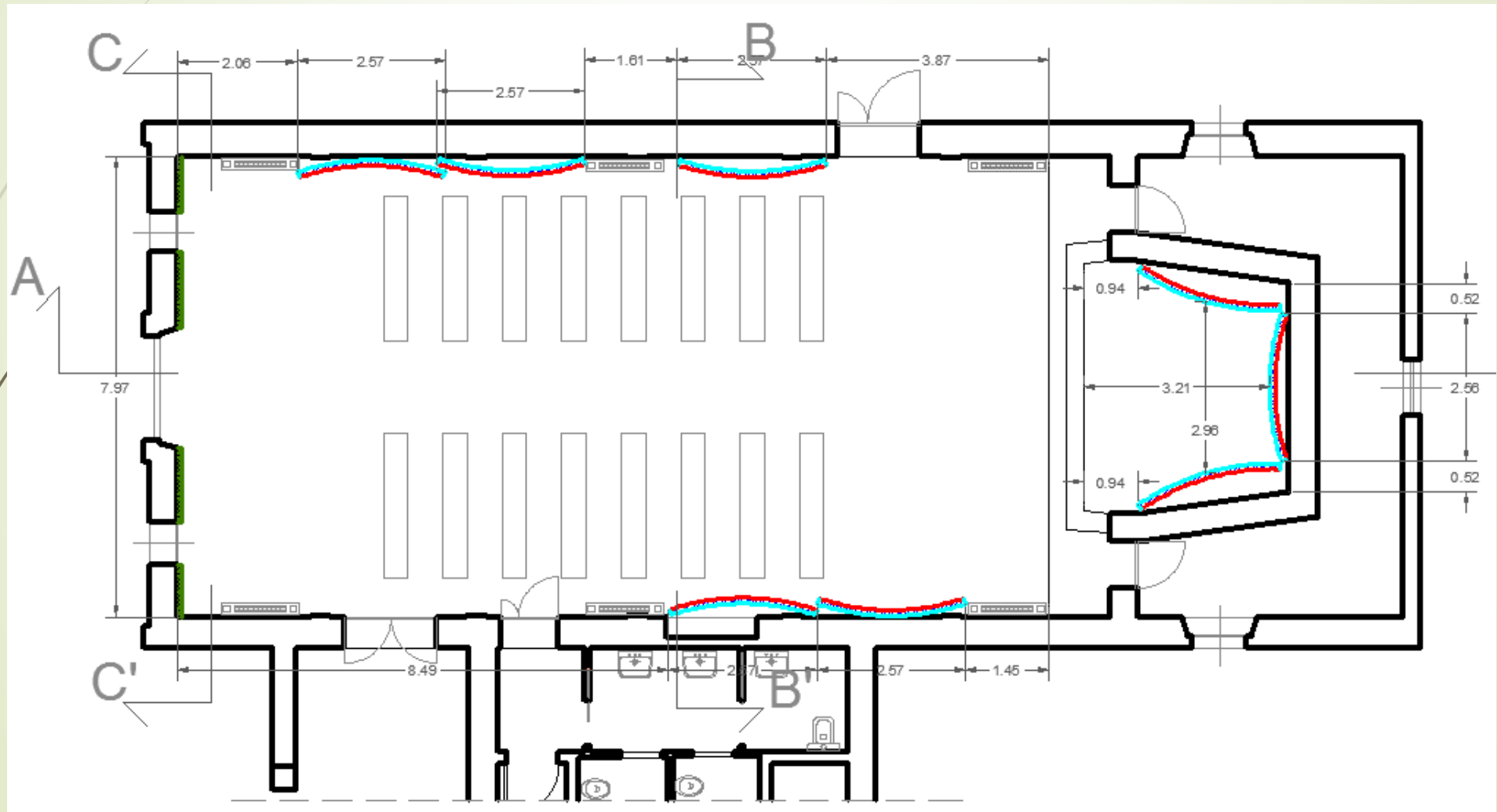
## CASO STUDIO – AUDITORIUM LEGAMBIENTE



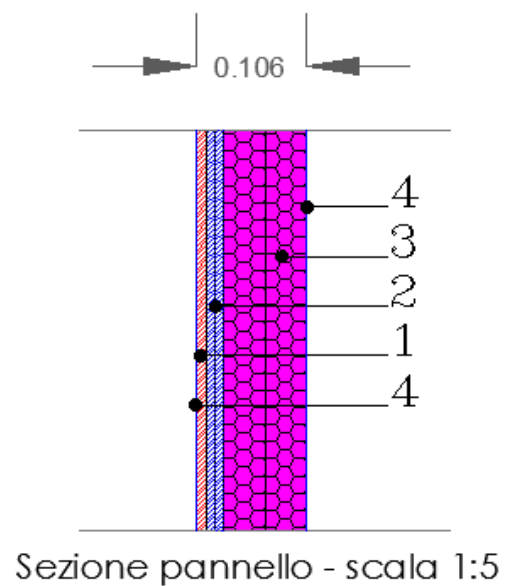
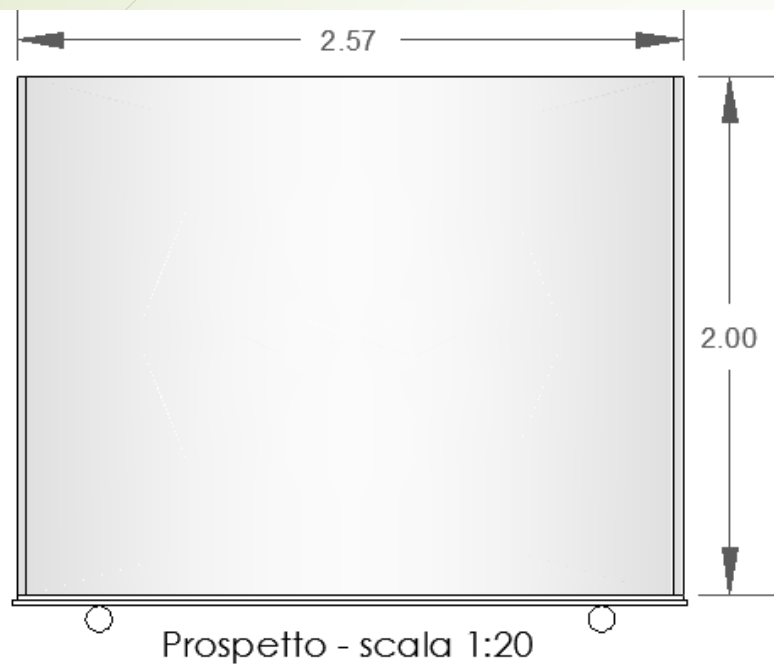


## CASO STUDIO – AUDITORIUM LEGAMBIENTE

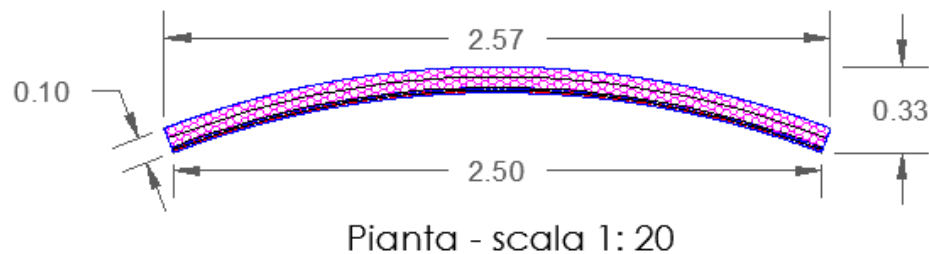
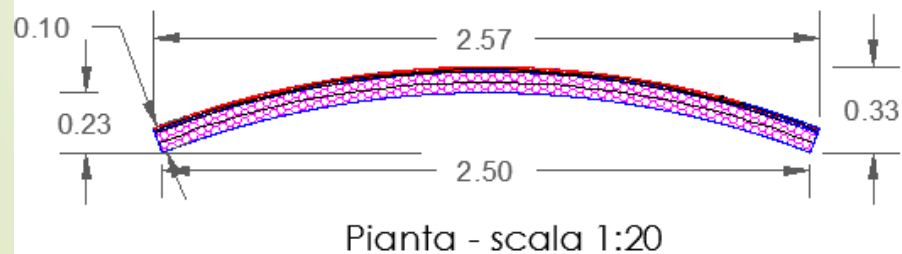
Pannelli fonoassorbenti/riflettenti mobili



## CASO STUDIO – AUDITORIUM LEGAMBIENTE



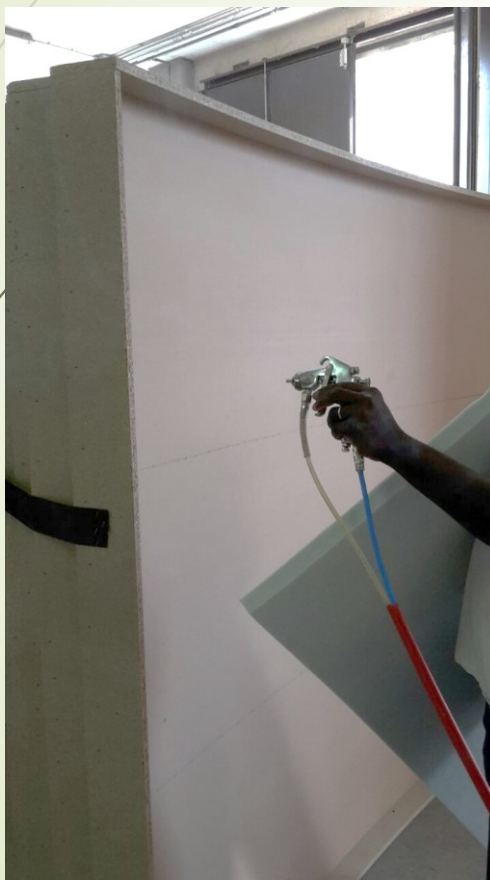
- 1 - Gomma riciclata da PFU, spessore 10 mm, densità 750 kg/m³;
- 2 - Doppio pannello in legno multistrato, spessore 8+8 mm;
- 3 - Doppio pannello fonoassorbente in fibra di poliestere, spessore 40+40 mm, densità 40 kg/m³;
- 4 - Rivestimento con tessuto in fibra di poliestere 100%, peso 150 g/m².





## CASO STUDIO – AUDITORIUM LEGAMBIENTE

Pannelli fonoassorbenti/riflettenti mobili



## CASO STUDIO – AUDITORIUM LEGAMBIENTE

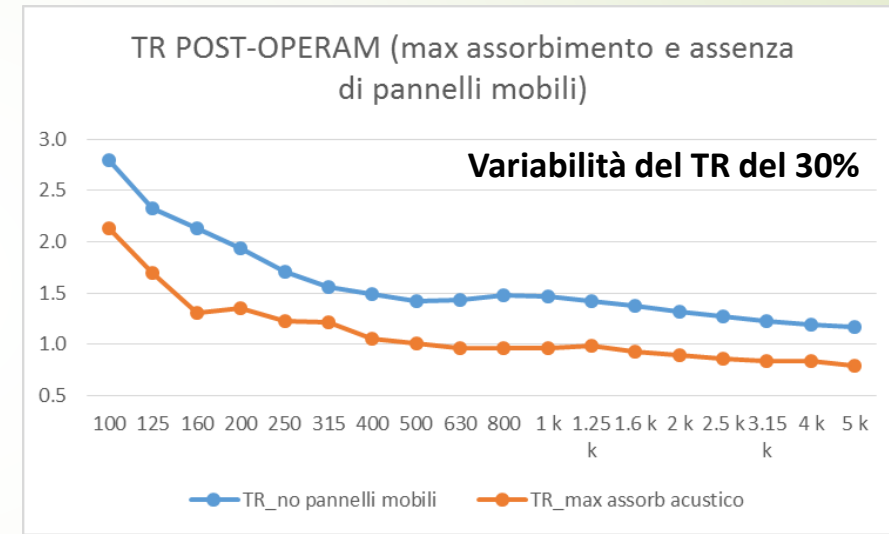
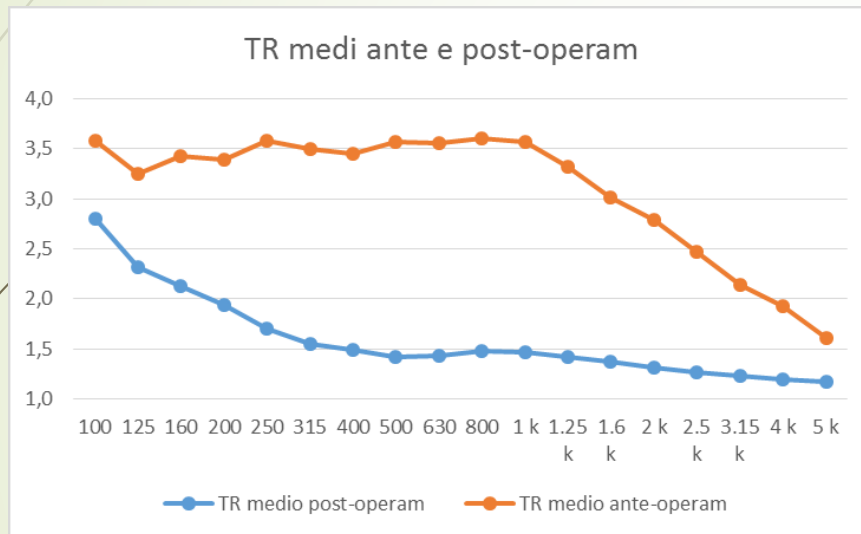




## CASO STUDIO – AUDITORIUM LEGAMBIENTE



## CASO STUDIO – AUDITORIUM LEGAMBIENTE



Frequenza (Hz)	TR ANTE-OPERAM	TR POST-OPERAM min assorb	TR POST-OPERAM max assorb	TR ottimale per l'ascolto del parlato
125 Hz	3.54	1.78	1.71	1.3-1.8
media 500-2000 Hz	3.25	1.03	0.96	0.9-1.1

Questa variabilità consente di “regolare” in maniera personalizzata l’acustica della sala a seconda della destinazione d’uso considerata.

Per la musica si può scegliere di posizionare verso la sala il lato riflettente di uno o più pannelli a seconda delle condizioni di riverberazione desiderate.





GRAZIE PER L'ATTENZIONE!

lucia.busa76@gmail.com



REGIONE MARCHE

GIUNTA REGIONALE  
SERVIZIO POLITICHE  
AGROALIMENTARI

**RICREA**

**"Circular Economy: valorisation of residual straw for the production of innovative, bio-based, compostable and biodegradable packaging"**