

WEBINAR

Tecnologie alternative per la sostenibilità
nella progettazione degli edifici sportivi

Assorbimento acustico per il comfort degli ambienti interni

Ing. Nicola Granzotto – Progetto Decibel S.r.l.

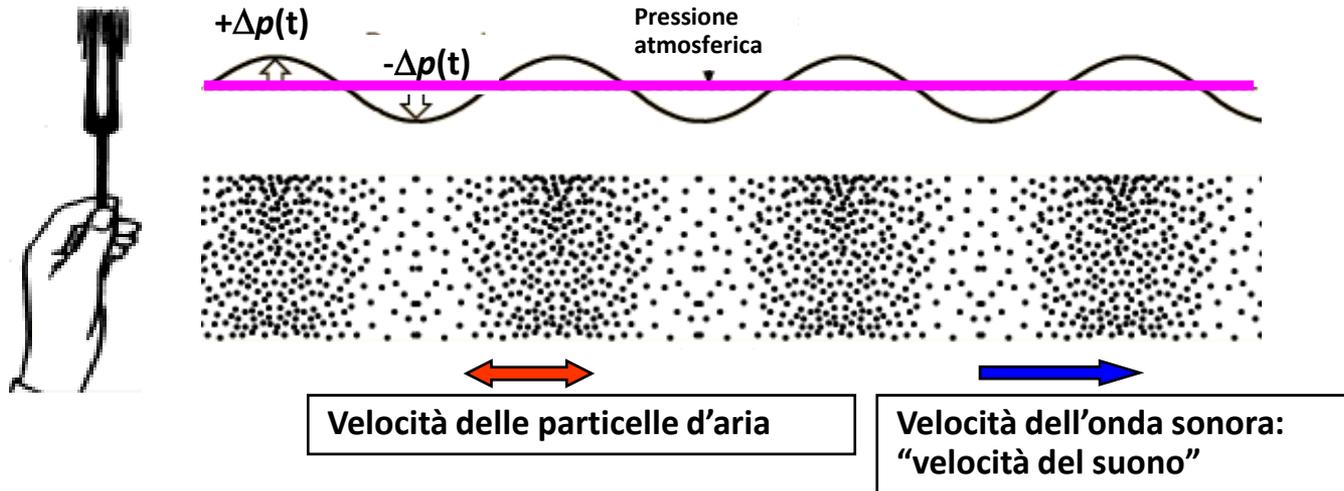
TSPORT

SPORT & IMPIANTI

23/09/2024

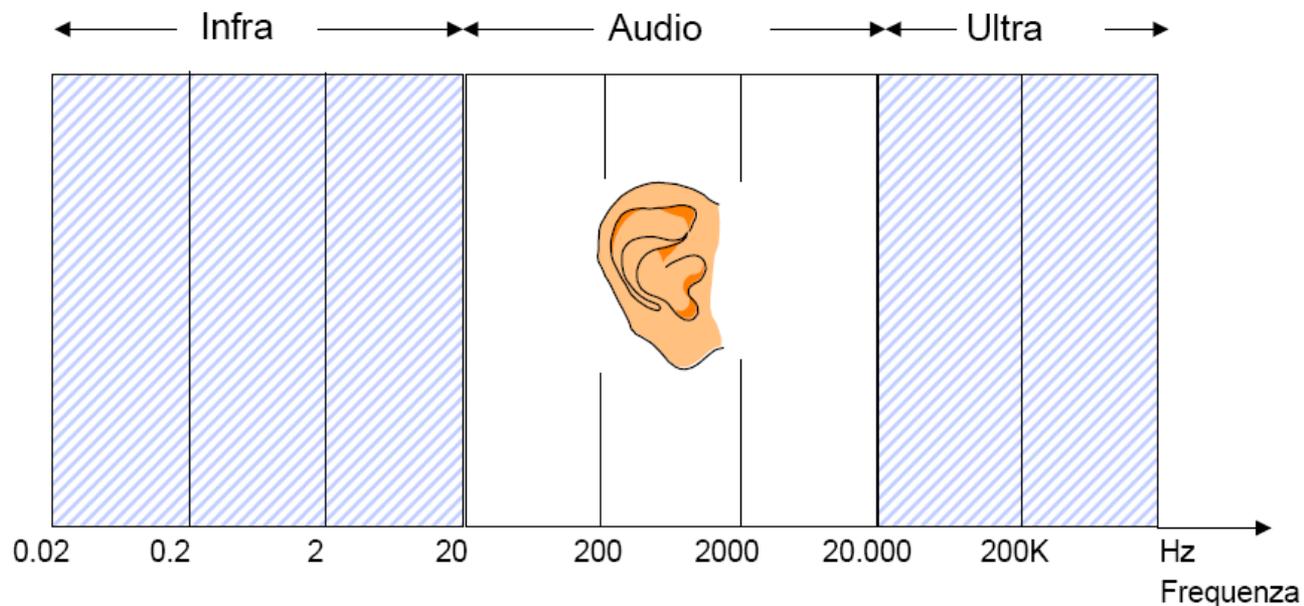
Il suono

Il fenomeno sonoro è caratterizzato dalla propagazione di energia meccanica dovuta al rapido succedersi di compressioni $+\Delta p(t)$ e rarefazioni $-\Delta p(t)$, in un mezzo elastico, rispetto ad uno “stato imperturbato”, (nel caso in cui il mezzo elastico sia l’aria, lo “stato imperturbato” è rappresentato dalla pressione atmosferica p_a). La variazione di pressione $\Delta p(t)$ viene chiamata pressione sonora $p(t)$, varia sia nello spazio che nel tempo.

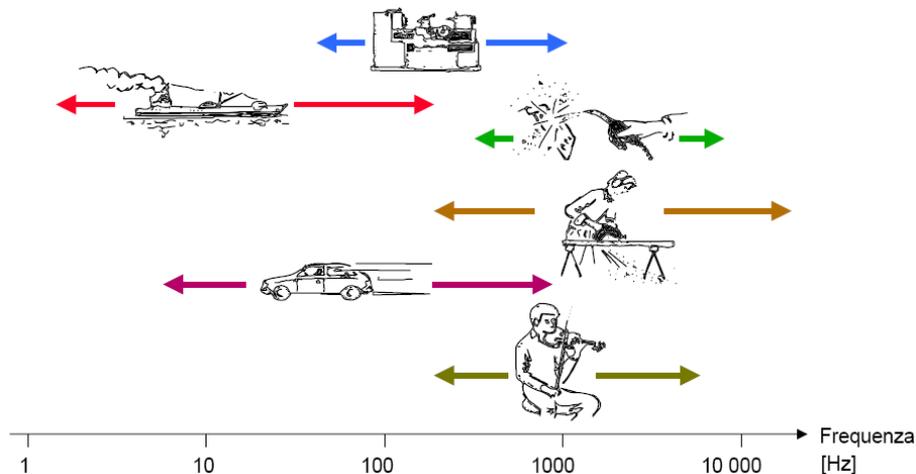


Frequenza

Numero di oscillazioni complete che compie l'onda sonora in un secondo.
L'orecchio umano percepisce frequenze che vanno da 20 a 20000 Hz.



Frequenza

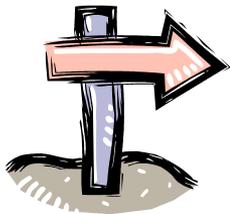


<i>Suono</i>	<i>Frequenza (Hz)</i>
La nota più bassa di un pianoforte	27,5
La nota più bassa di un cantante basso	100
La nota più bassa di un clarinetto	104,8
Il do centrale del pianoforte	261,6
Il la oltre il do centrale	440
L'estensione superiore di un soprano	1000
La nota più alta di un pianoforte	4180
L'armonica superiore degli strumenti musicali	10000
Il limite dell'udito nelle persone anziane	12000

Livello di pressione sonora

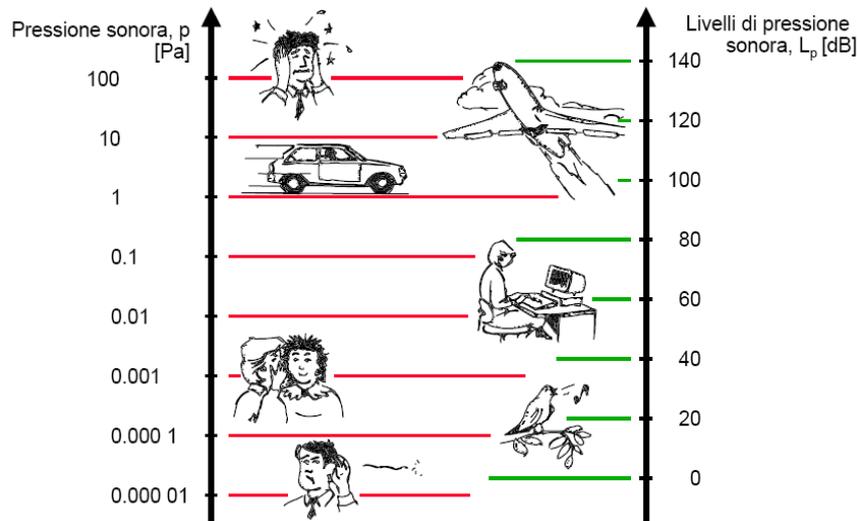
La pressione sonora si misura in **pascal [Pa]**, ed è una caratteristica della posizione d'ascolto o di misura.

$$L_p = 10 \lg \left(\frac{p^2}{p_0^2} \right) = 20 \lg \left(\frac{p}{p_0} \right) \quad [\text{dB}]$$

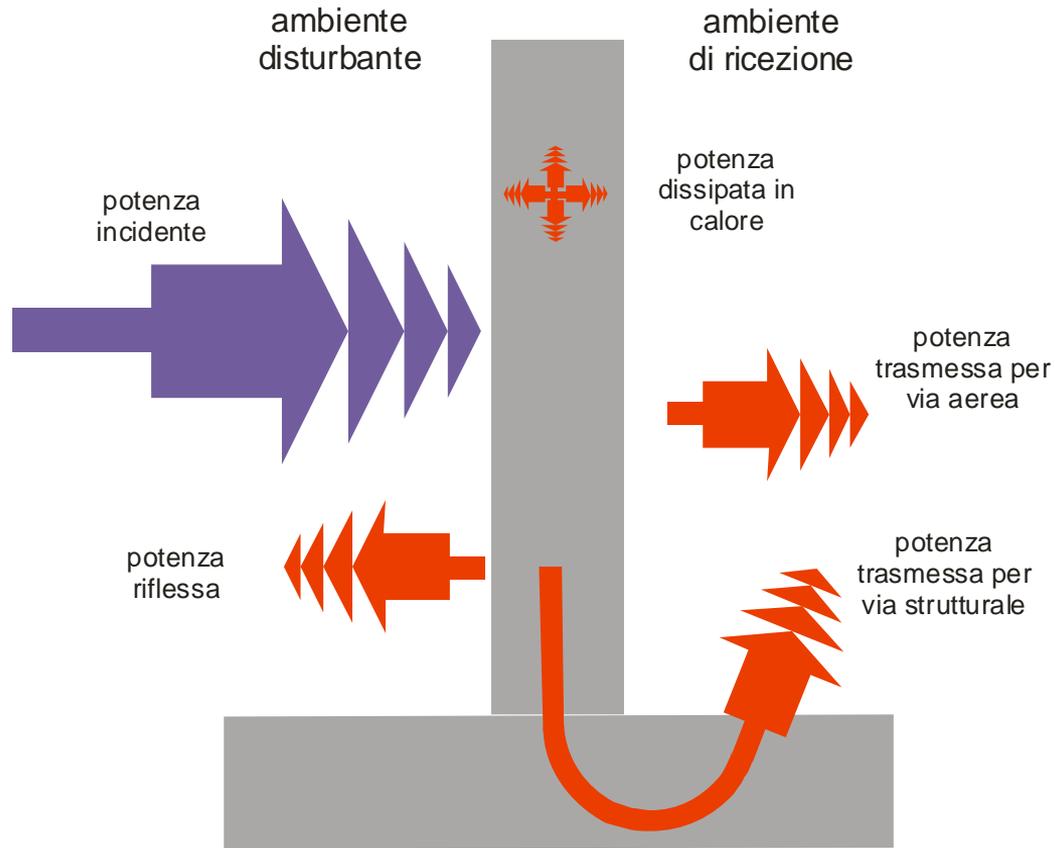


Pressione di riferimento

$$p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ [Pa]}$$



RIFLESSIONE, ASSORBIMENTO, TRASMISSIONE



RIFLESSIONE, ASSORBIMENTO, TRASMISSIONE

Coefficiente di dissipazione: $\delta = \frac{W_d}{W_i}$

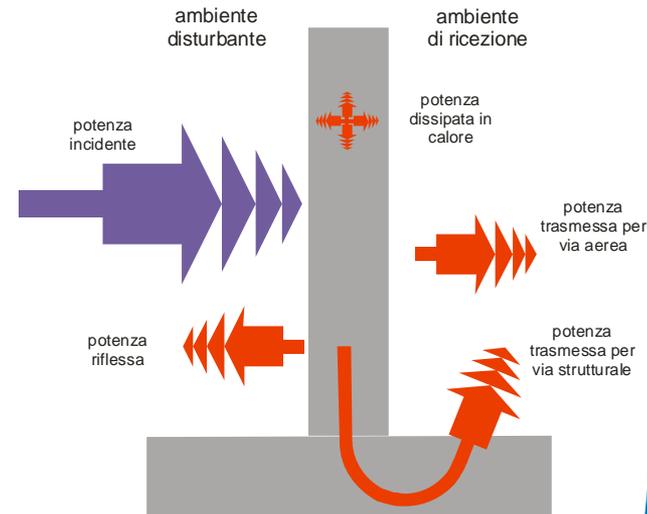
Coefficiente di trasmissione: $\tau = \frac{W_t}{W_i}$

Coeff. di assorbimento apparente: $\alpha = \delta + \tau = \frac{W_i - W_r}{W_i} = \frac{W_a}{W_i}$

Coefficiente di riflessione: $r = \frac{W_r}{W_i}$

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

Fonoisolamento \neq Fonoassorbimento



Coefficiente di assorbimento acustico apparente

Il coefficiente di assorbimento acustico (apparente) di una qualsiasi superficie viene definito come il rapporto tra la potenza sonora non riflessa e la totale potenza sonora incidente su di essa:

$$\alpha = \frac{W_i - W_r}{W_i}$$

dove W_i è la potenza sonora incidente e W_r la potenza sonora riflessa.

Un ambiente confinato può essere immaginato come un insieme di superfici ciascuna caratterizzata da un particolare coefficiente di assorbimento acustico apparente; in tal modo è possibile calcolare l'assorbimento acustico totale dell'ambiente:

$$A = \sum_{i=1}^n \alpha_i S_i \quad [\text{m}^2]$$

Area di assorbimento acustico equivalente in un ambiente confinato

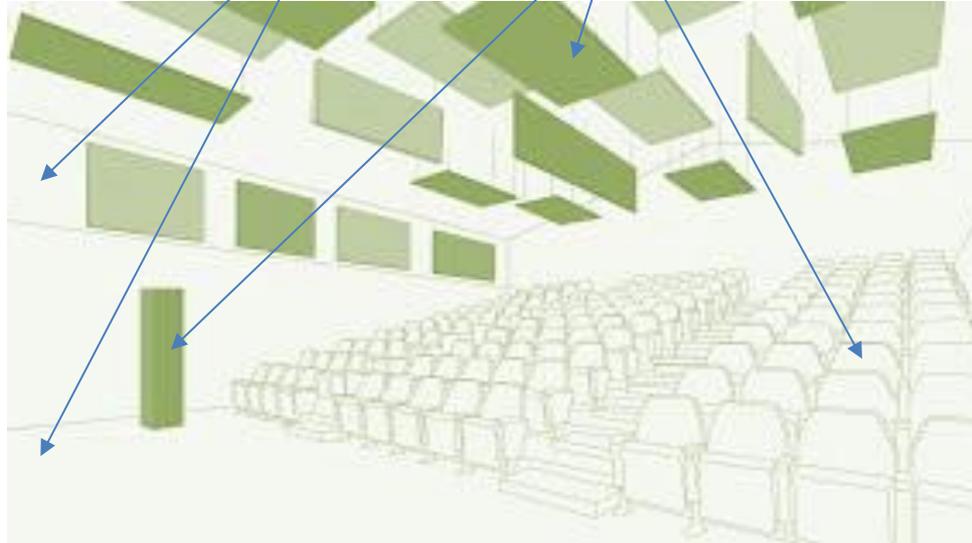
Un ulteriore motivo di assorbimento dell'energia sonora del campo acustico in un ambiente è dato dall'eventuale presenza di elementi d'arredo o di persone od oggetti vari nell'ambiente stesso. Per questi non è possibile definire una superficie di contorno a cui attribuire un valore del coefficiente di assorbimento. In tale circostanza si caratterizzano detti elementi determinando per ciascuno di essi l'area di assorbimento acustico equivalente per oggetto A_{ogg} [m²], corrispondente all'area di una superficie perfettamente assorbente che ha un'equivalente effetto sull'assorbimento dell'energia sonora.

L'assorbimento totale in ambiente risulterà allora:

$$A = \sum_i \alpha_i S_i + \sum_n A_{ogg,n} n$$

Area di assorbimento acustico equivalente in un ambiente confinato

$$A = \sum_i \alpha_i S_i + \sum_n A_{ogg,n} n$$



Tempo di riverberazione

L'assorbimento acustico totale di un ambiente può essere valutato a partire dalle proprietà fonoassorbenti delle superfici che lo costituiscono o derivato sperimentalmente dalla misura del tempo di riverberazione.

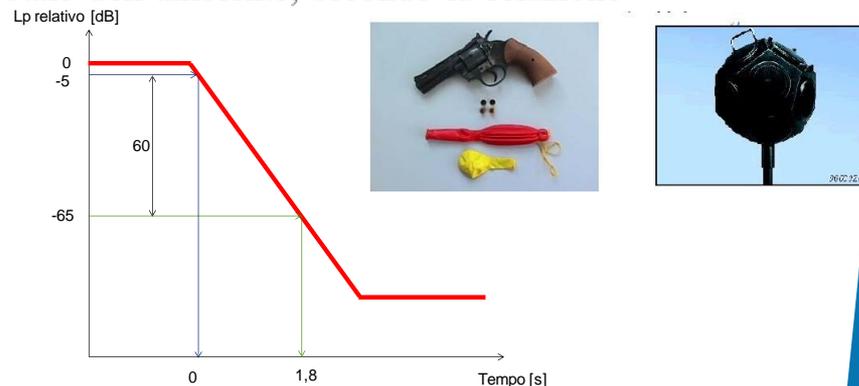
Il tempo di riverberazione è definito come il tempo necessario affinché la densità di energia sonora in un ambiente si riduca al valore di un milionesimo della densità di energia presente al momento dell'interruzione della sorgente acustica. In altri termini, è definito come l'intervallo di tempo necessario per ottenere un decadimento di 60 dB del livello di pressione sonora del campo riverberato dall'istante in cui viene interrotta la sorgente sonora che lo produce; esso rappresenta sostanzialmente il tempo per l'estinzione del campo riverberato a partire da una condizione iniziale di livello sonoro "elevato". Il tempo di riverberazione dipende dal volume e dall'assorbimento acustico totale dell'ambiente, secondo la relazione (formula di Sabine):

$$T_{60} = 0,161 \frac{V}{A} \quad [s]$$

dove:

V = volume dell'ambiente [m^3]

A = assorbimento acustico totale dell'ambiente [m^2]

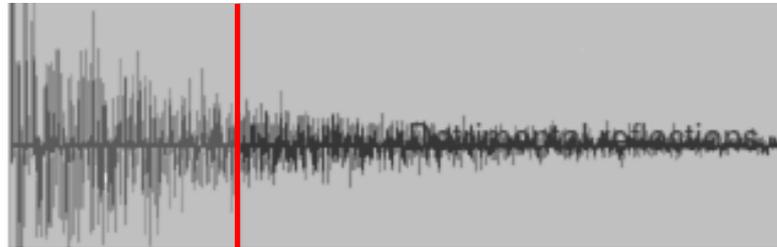


Chiarezza C50

Rapporto tra l'energia sonora che giunge all'ascoltatore nei primi 50 ms e l'energia che giunge all'ascoltatore da 50 ms alla fine del decadimento del segnale.

E' determinata mediante la seguente formula:

$$C_{50} = \frac{\int_0^{50 \text{ ms}} p^2(t) dt}{\int_{50 \text{ ms}}^{\infty} p^2(t) dt}$$

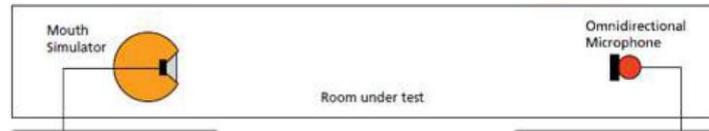


50 ms

STI

«Speech Transmission Index» (Indice di trasmissibilità del parlato): rappresenta la qualità di trasmissione del parlato in relazione all'intelligibilità. Il valore è compreso tra 0 e 1.

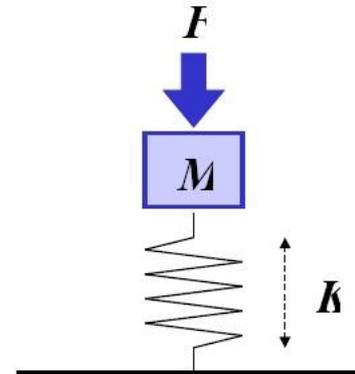
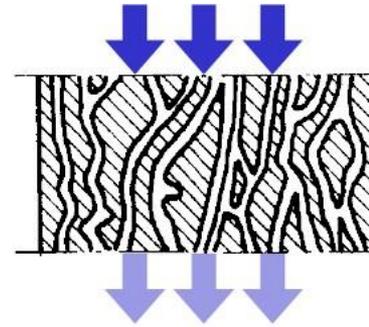
Il segnale utilizzato in questo tipo di misurazione è un segnale particolare, che cerca di riprodurre le caratteristiche di ampiezza e modulazione tipiche della voce umana.



Valori di STI	Qualità del parlato
$0 < STI \leq 0.3$	Pessimo
$0.3 < STI \leq 0.45$	Scarso
$0.45 < STI \leq 0.6$	Accettabile
$0.6 < STI \leq 0.75$	Buono
$0.75 < STI \leq 1$	Eccellente

Modalità di assorbimento del suono

- 1) Assorbimento per porosità:
fenomeno dissipativo legato all'attrito viscoso che accompagna la propagazione dell'energia sonora all'interno di materiali a struttura porosa aperta (porosi-rigidi e porosi-flessibili)
- 2) Assorbimento per risonanza di cavità e di membrana:
dissipazione dell'energia sonora dovuta allo smorzamento dell'oscillazione, rispettivamente, di una massa d'aria parzialmente confinata e di una superficie vibrante sollecitata da onde sonore incidenti su di essa

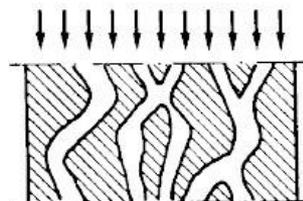


Assorbimento per porosità

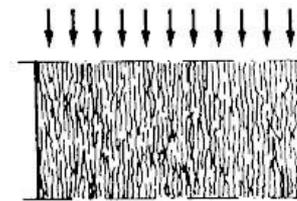
Resistenza specifica al flusso $R_s = \frac{\Delta p}{u}$ [(Pa·s)/m]

Resistività al flusso $r = \frac{R_s}{d}$ [(Pa·s)/m²]

Se la resistenza al flusso è elevata le onde sonore non riescono a penetrare nel materiale, se è bassa, non incontrano attrito sufficiente alla dissipazione dell'energia.



Bassa resistenza

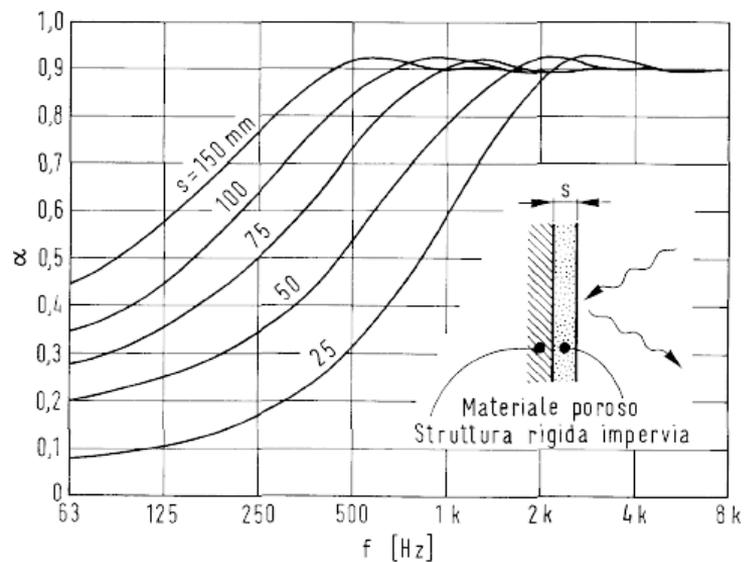


Alta resistenza

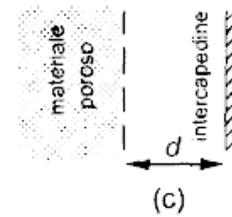
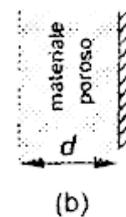
Materiali porosi con coefficienti di assorbimento elevati presentano valori di resistenza specifica al flusso compresi tra una e due volte l'impedenza caratteristica dell'aria $\rho_0 c$.

$$1 \leq \left(\frac{R_s}{\rho_0 c} \right) \leq 2 \quad [(\text{Pa s})/\text{m}] \quad \text{in aria a } 20 \text{ }^\circ\text{C } \rho_0 c = 415 \text{ (Pa·s)/m}$$

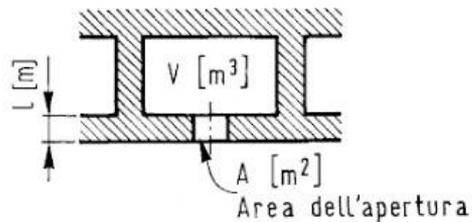
Assorbimento per porosità



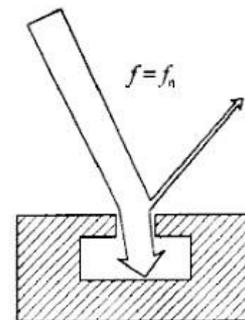
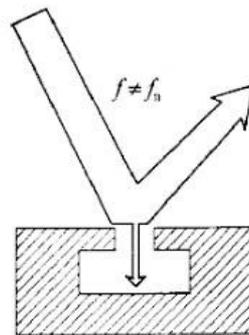
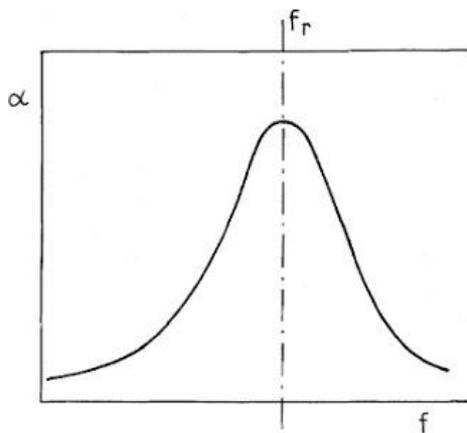
Andamento del coefficiente di assorbimento in funzione dello spessore del materiale poroso



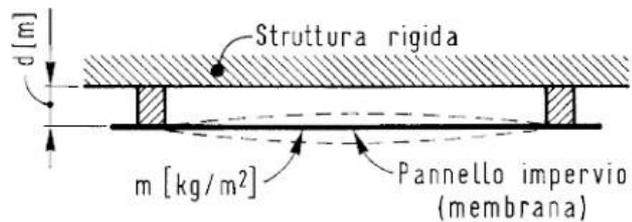
Assorbimento per risonanza di cavità



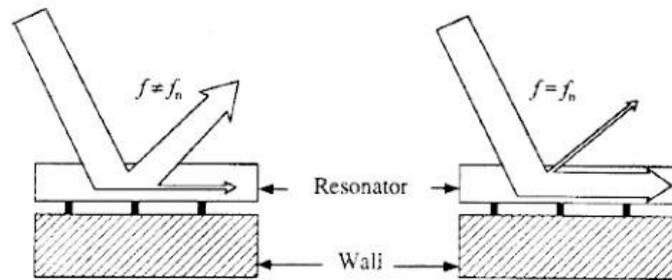
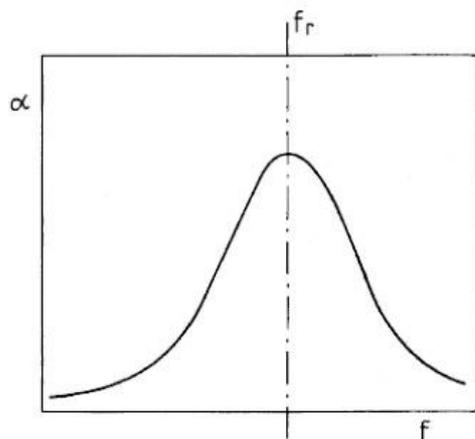
$$f_r = 54 \sqrt{\frac{A}{V \cdot L}} \quad [\text{Hz}]$$



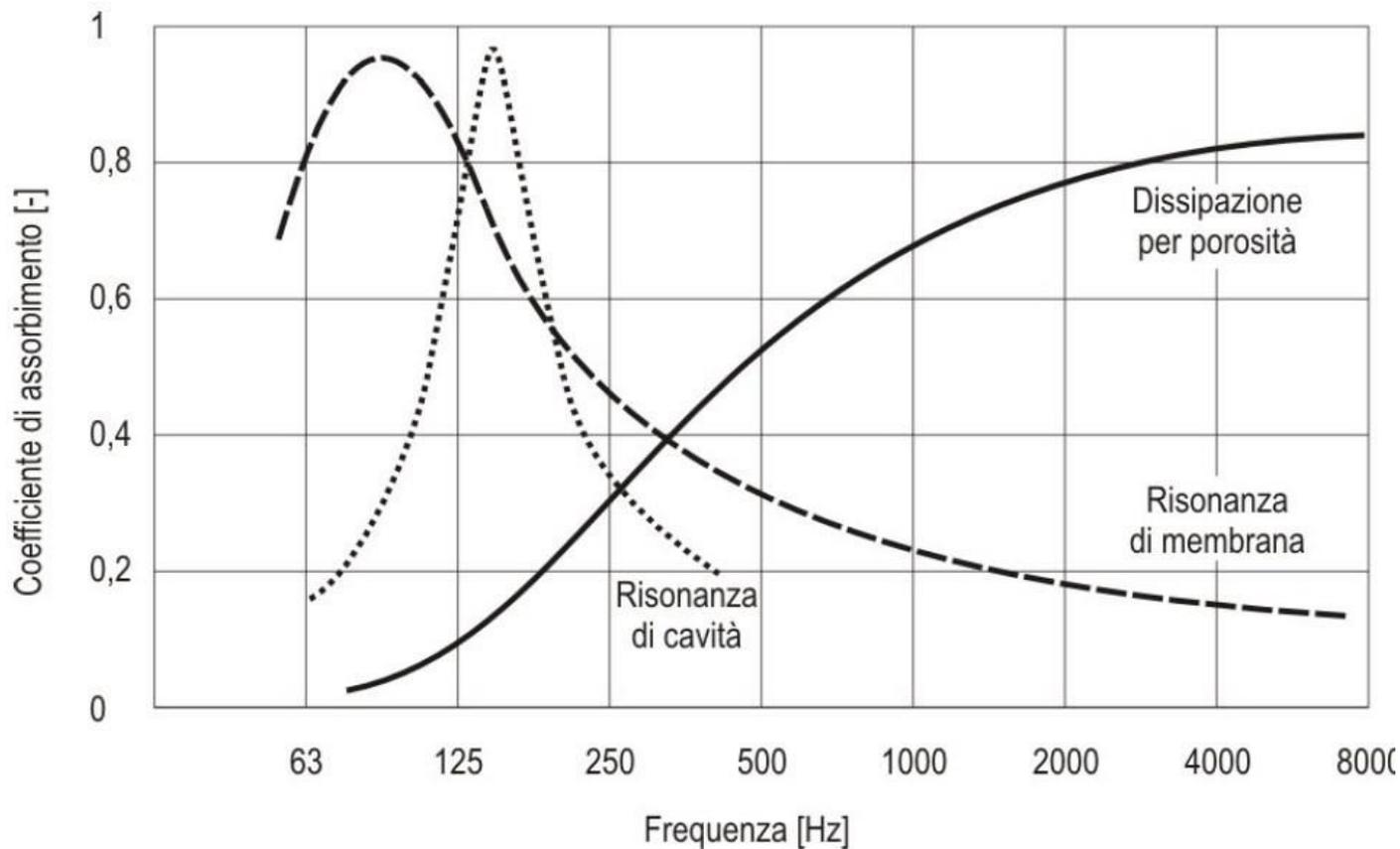
Assorbimento per risonanza di membrana



$$f_r = \frac{60}{\sqrt{m \cdot d}} \text{ [Hz]}$$

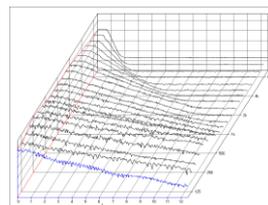
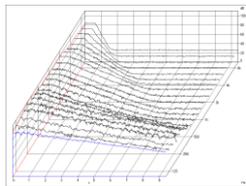


Assorbimento



Determinazione del coefficiente di assorbimento in camera riverberante (UNI EN ISO 354)

$$A_T = A_2 - A_1 = 55,3 \cdot V \left(\frac{1}{c_2 T_2} - \frac{1}{c_1 T_1} \right) - 4V(m_2 - m_1)$$



dove:

T_1 è il tempo di riverberazione della camera vuota [s];

T_2 è il tempo di riverberazione della camera contenente il campione in prova [s];

V è il volume della camera [m³];

c è la velocità di propagazione del suono nell'aria, nelle condizioni 1 e 2 [m/s].

Oggetti piani: $\alpha_s = A_T / S$ (S è la superficie del campione [m²])

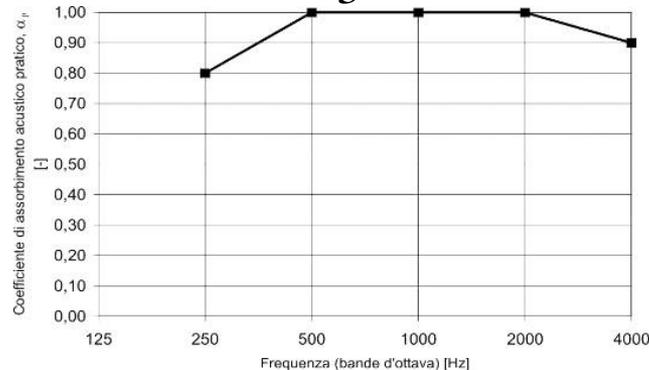
Oggetti discreti: $A_{obj} = A_T / n$ (n è il numero di oggetti testati)

Assorbitori acustici per l'edilizia. Valutazione dell'assorbimento acustico (UNI EN ISO 11654)

Coefficiente di assorbimento acustico pratico, α_p :

valore del coefficiente di assorbimento acustico dipendente dalla frequenza basato su misurazioni effettuate per bande di terzo di ottava conformemente alla ISO 354 e calcolato per bande di ottava conformemente alla presente norma internazionale. Il valore medio viene calcolato alla seconda cifra decimale, arrotondato per passi di 0,05, e limitato a $\alpha_{pi}=1,00$ per valori medi arrotondati $> 1,00$.

$$\alpha_{pi} = \frac{(\alpha_{i1} + \alpha_{i2} + \alpha_{i3})}{3}$$



Coefficiente di assorbimento acustico ponderato, α_w :

valore unico indipendente dalla frequenza uguale al valore della curva di riferimento a 500 Hz dopo la traslazione, a passi di 0,05, fino a che la somma degli scarti sfavorevoli risulta massima ma inferiore a 0,10.

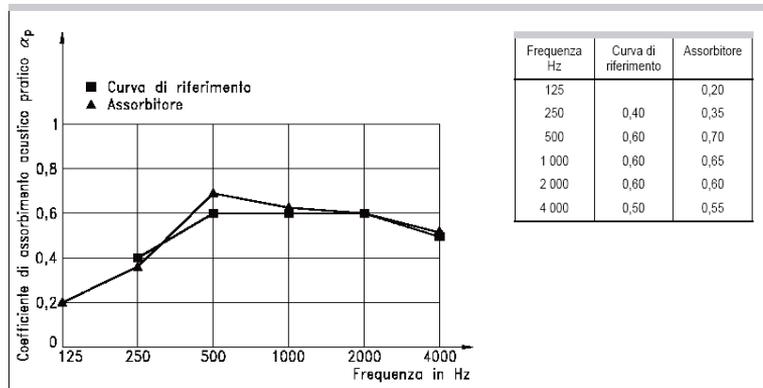
Classe di assorbimento acustico	α_w
A	0,90; 0,95; 1,00
B	0,80; 0,85
C	0,60; 0,65; 0,70; 0,75
D	0,30; 0,35; 0,40; 0,45; 0,50; 0,55
E	0,15; 0,20; 0,25
Non classificato	0,00; 0,05; 0,10

Assorbitori acustici per l'edilizia. Valutazione dell'assorbimento acustico (UNI EN ISO 11654)

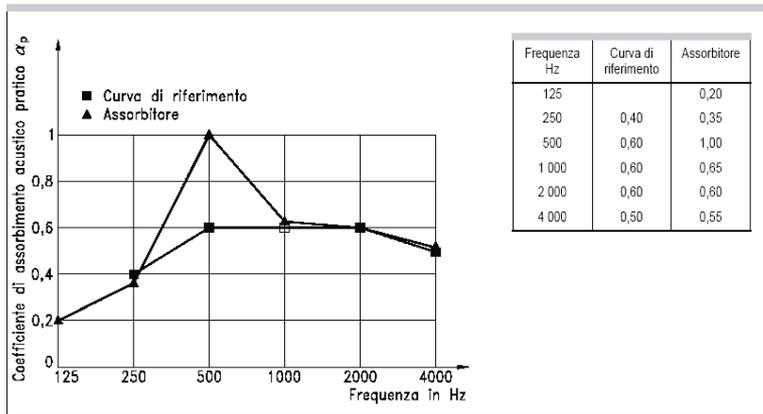
Indicatori di forma, L, M, H:

Se un coefficiente di assorbimento acustico pratico α_{pi} supera il valore della curva di riferimento traslata di 0,25 o più, aggiungere al valore α_w uno o più indicatori di forma riportandoli tra parentesi.

Se l'eccesso di assorbimento si verifica a **250 Hz**, usare la notazione **L**. Se l'eccesso di assorbimento si verifica a **500 Hz** o **1000 Hz**, usare la notazione **M**. Se l'eccesso di assorbimento si verifica a **2000 Hz** o **4000 Hz**, usare la notazione **H**.



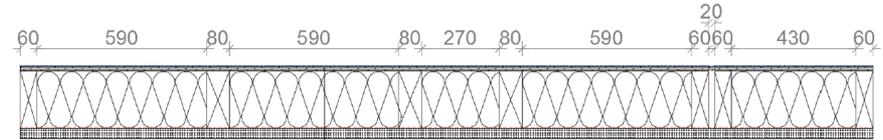
$$\alpha_w = 0.60$$



$$\alpha_w = 0.60 (M)$$

Nuovo Palazzetto sportivo "PalaVAS" – Setteville (BL)

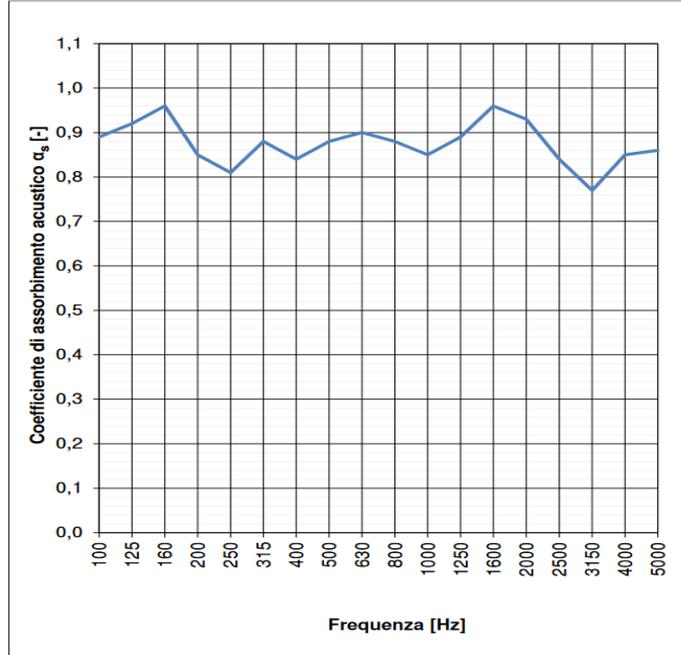
Pannello Wolf System «Industry»



telo OMEGA UDO-s 330
OSB-3 sp. 15mm
costole H = 200mm
lana di vetro ISOVER ULTIMATE UF-039 Universalfilz sp:200mm
barriera vapore ISOCELL AIRSTOP DIVA
panello CELENIT N sp. 35mm

Pannello Wolf System «Industry»

Coefficiente di assorbimento acustico



$$\alpha_w = 0.90$$

Legislazione

Circolare 3150 del 22/05/1967
Criteri di valutazione e collaudo dei requisiti acustici negli edifici scolastici

DPCM 05/12/1997
Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici

UNI 11367:2010
Acustica in edilizia. Classificazione acustica delle unità immobiliari. Procedura di valutazione e verifica in opera (appendice C)

DM 11/10/2017
Criteri ambientali minimi per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici.

UNI 11532-2:2020 Ultima corr. 11/05/23
Caratteristiche acustiche interne di ambienti confinati -Metodi di progettazione e tecniche di valutazione -Parte 2: Settore scolastico

Aggiornamento CAM: DM 23/06/22

Aggiornamento UNI 11367:2023

1967

1997

2010

2017

2020

2022

2023

Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici

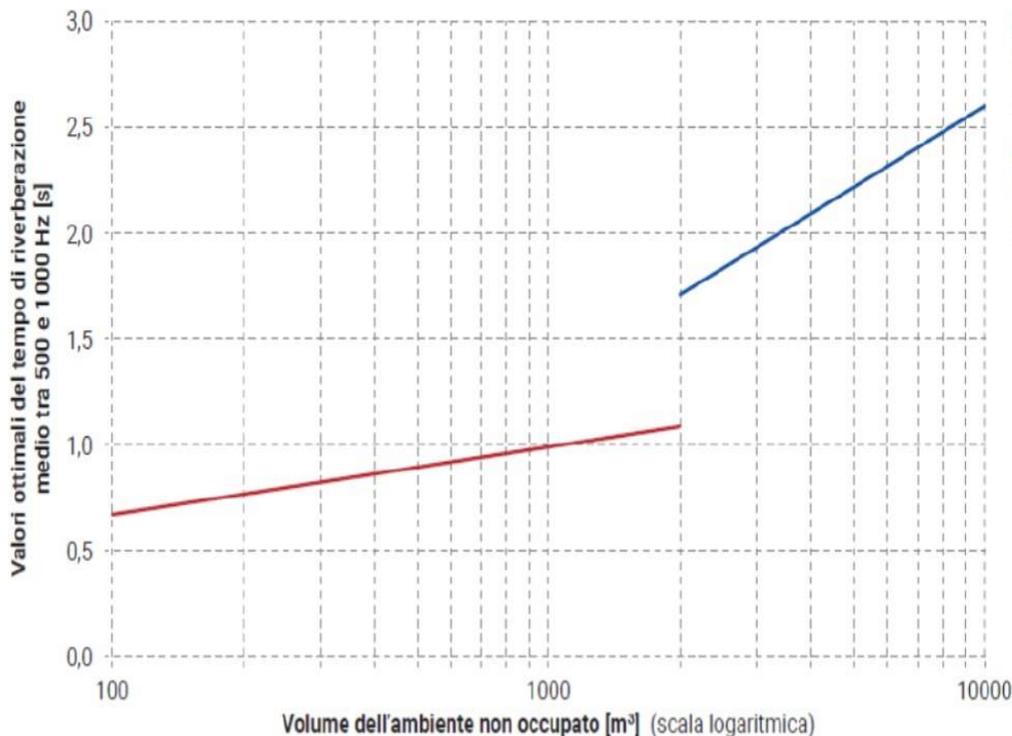
Nota: con riferimento all'edilizia scolastica, i limiti per il tempo di riverberazione sono quelli riportati nella circolare del Ministero dei lavori pubblici n. 3150 del 22 maggio 1967, recante i criteri di valutazione e collaudo dei requisiti acustici negli edifici scolastici.

La media dei tempi di riverberazione misurati alle frequenze **250 - 500 - 1000 - 2000 Hz**, non deve superare **1,2 s** ad **aula arredata, con la presenza di due persone al massimo.**

Nelle palestre la media dei tempi di riverberazione (qualora non debbano essere utilizzate come auditorio) non deve superare 2,2 s.

UNI 11367:2023 (Appendice C)

Acustica in edilizia - Classificazione acustica delle unità immobiliari



PARLATO: $T_{\text{ott}} = 0,32 \log(V) + 0,03$ [s]

Volume interno da 100 a 2000 m³
(ambiente non occupato)

SPORT: $T_{\text{ott}} = 1,27 \log(V) - 2,49$ [s]

Volume interno da 2000 a 10000 m³
(ambiente non occupato)

$$T \leq 1,2 T_{\text{ott}}$$

tra 250 Hz - 4000 Hz

I descrittori acustici C_{50} e STI

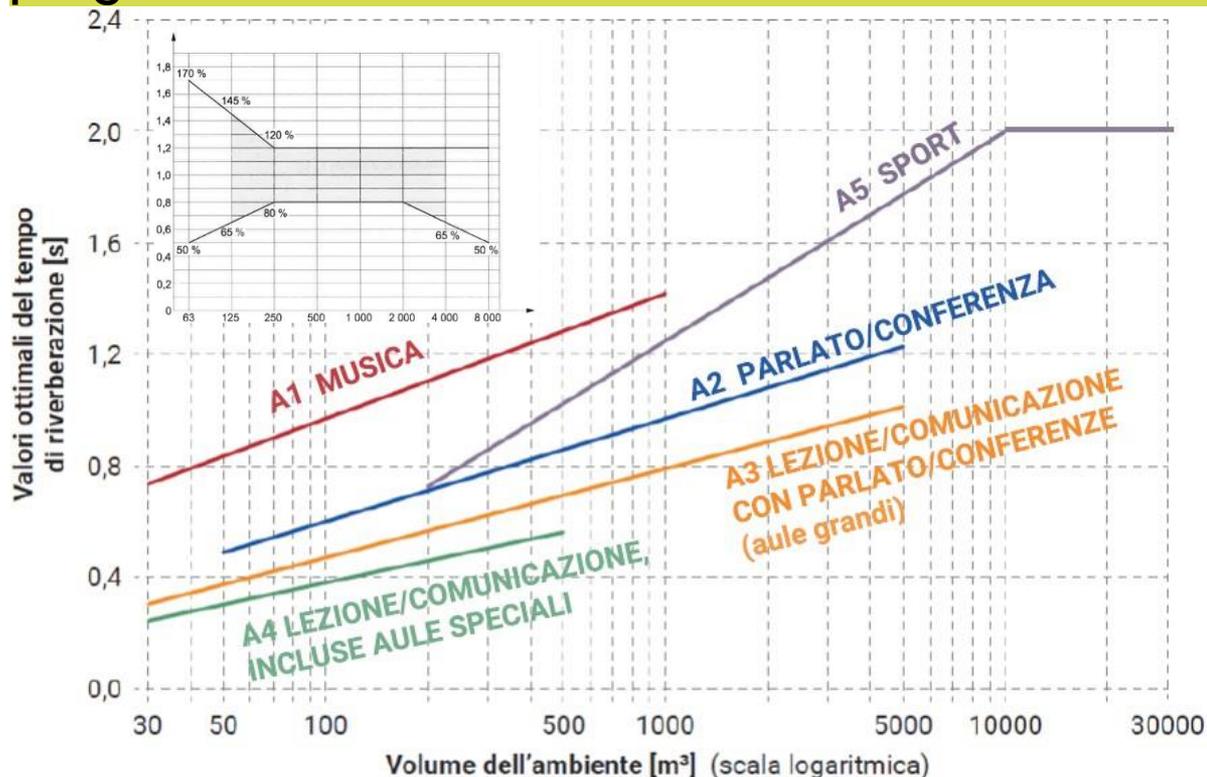
Le caratteristiche interne di un ambiente, soprattutto quando sia essenziale garantire una buona intelligibilità del parlato, possono essere ben descritte attraverso i parametri C_{50} (chiarezza) e STI (speech transmission index). Nel prospetto C.1 sono riportati i valori consigliati per ognuna delle due grandezze citate, in relazione ad ambienti in cui la comprensione del parlato sia il requisito principale, e ad ambienti dedicati ad attività per le quali è sufficiente il controllo della riverberazione acustica (per esempio attività sportive).

Valori consigliati dei parametri C_{50} e STI

	C_{50} dB	STI dB
Ambienti adibiti al parlato	≥ 0	$\geq 0,6$
Ambienti adibiti ad attività sportive	≥ -2	$\geq 0,5$

Le modalità di misurazione e di valutazione sono descritte nella serie UNI EN ISO 3382 e nella CEI EN 60268-16.

Caratteristiche acustiche interne di ambienti confinati - Metodi di progettazione e tecniche di valutazione - Parte 2: Settore scolastico



* Il tempo di riverberazione ottimale T_{ott} corrisponde ad un'occupazione convenzionale dell'ambiente pari all'80% ad eccezione della categoria A5

A1: $T_{ott} = 0,45 \log(V) + 0,07$ [s]
Volume interno da 30 a 1000 m³
(ambiente occupato all'80%)

A2: $T_{ott} = 0,37 \log(V) - 0,14$ [s]
Volume interno da 50 a 5000 m³
(ambiente occupato all'80%)

A3: $T_{ott} = 0,32 \log(V) - 0,17$ [s]
Volume interno da 30 a 5000 m³
(ambiente occupato all'80%)

A4: $T_{ott} = 0,26 \log(V) - 0,14$ [s]
Volume interno da 30 a 500 m³
(ambiente occupato all'80%)

A5: $T_{ott} = 0,75 \log(V) - 1,00$ [s]
Volume interno da 200 a 10000 m³
(ambiente non occupato)

2.4.11 Comfort acustico

[...]

Le scuole soddisfano almeno i valori di riferimento di requisiti acustici passivi e comfort acustico interno indicati nella UNI 11532-2.

Gli ambienti interni, ad esclusione delle scuole, rispettano i valori indicati nell'appendice C della UNI 11367.

[...]

Verifica: la Relazione CAM, illustra in che modo il progetto ha tenuto conto di questo criterio progettuale e prevede anche una relazione acustica di **calcolo previsionale redatta da un tecnico competente in acustica**; in fase di verifica finale della conformità è prodotta una **relazione di collaudo basata su misure acustiche in opera eseguite da un tecnico competente in acustica**.

Rif. attività natatorie

REGIONE LOMBARDIA -
D.G.R. 17 MAGGIO 2006 -
N. 8/2552

3.2 Requisiti acustici Nella
sezionale delle attività
natatorie e di balneazione
delle piscine coperte, il
tempo di riverberazione
non dovrà in nessun punto
essere superiore a 1,6 sec.
I requisiti acustici passivi
ed il rumore generato
dall'attività devono far
riferimento alla normativa
vigente in materia.

16 gennaio 2003 SCHEMA DI ACCORDO
TRA IL GOVERNO, LE REGIONI E LE
PROVINCE AUTONOME DI TRENTO E DI
BOLZANO SUI REQUISITI IGIENICOSANITARI
PER LA COSTRUZIONE, LA MANUTENZIONE E
LA VIGILANZA DELLE PISCINE AD USO
NATATORIO

a) il tempo di riverberazione, valutato
come media su 4 posizioni di misure situate
a bordo vasca [...], e mediato
sulle frequenze di 500-1000-2000 Hz, dovrà
essere non superiore a: 2,5 s per le piscine
già in attività; 1,8 s per le piscine realizzate
successivamente all'entrata in vigore del
presente Accordo.

INAIL Quaderni per la
Salute e la Sicurezza
LE PISCINE
(edizione 2016)

I requisiti acustici
passivi e il rumore
generato dalle
attività devono far
riferimento alla
normativa vigente. Il
tempo di
riverberazione non
deve in nessun punto
essere superiore a
1,6 sec.

WEBINAR

Tecnologie alternative per la sostenibilità nella progettazione degli edifici sportivi

Grazie per l'attenzione

Ing. Nicola Granzotto – Progetto Decibel S.r.l.
nicola@progettodecibel.it

TSPORT

SPORT & IMPIANTI

23/09/2024