

I MATERIALI FONDOASSORBENTI:  
PROPRIETÀ FISICHE E APPLICAZIONI

ING. MARIA GIOVANNINI

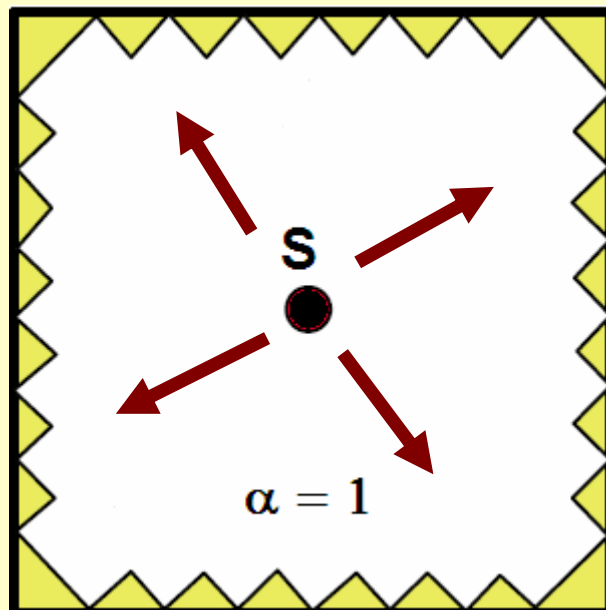
20 OTTOBRE 2007

## IL CAMPO SONORO NEGLI AMBIENTI CHIUSI

### CAMPO LIBERO:

ASSENZA DI  
RIFLESSIONI

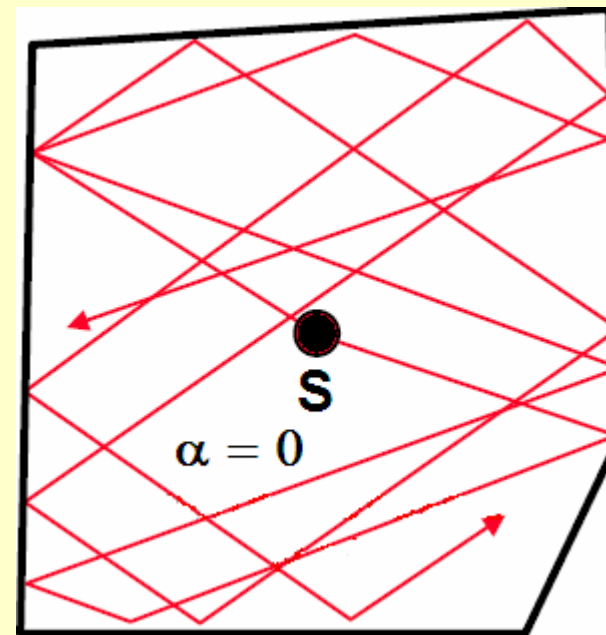
AMBIENTE  
ANECHOICO



### CAMPO RIVERBERATO:

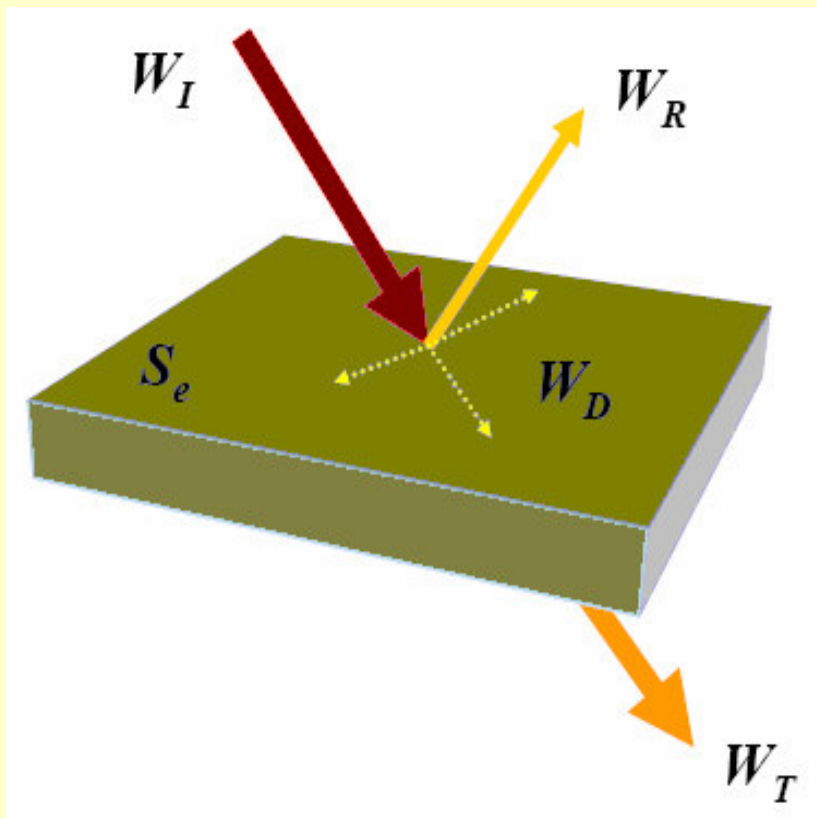
RIFLESSIONI DA TUTTE LE  
DIREZIONI

AMBIENTE  
RIVERBERANTE



INTERAZIONE SUONO-SUPERFICIE

$$W_I = W_R + W_D + W_T$$



$W_I =$  *potenza incidente*

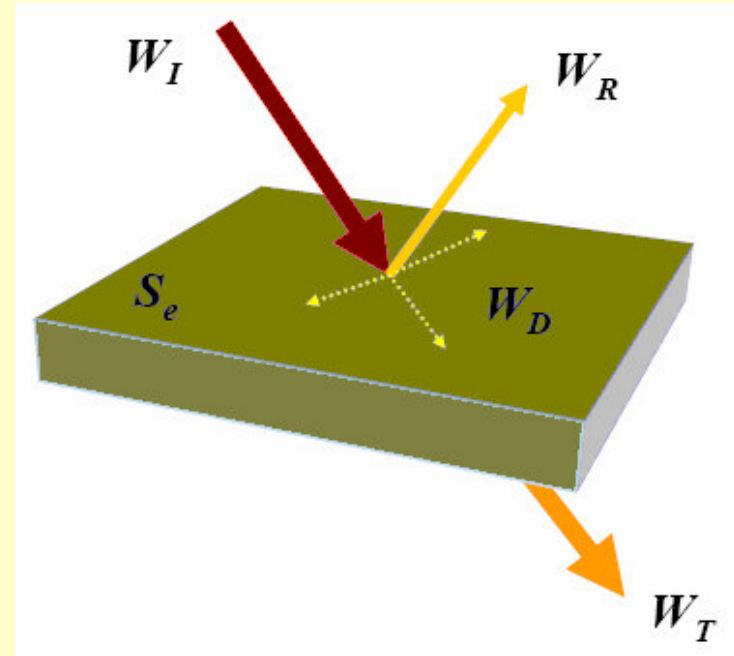
$W_R =$  *potenza riflessa*

$W_D =$  *potenza dissipata nel materiale*

$W_T =$  *potenza trasmessa*

IL COEFFICIENTE DI ASSORBIMENTO ACUSTICO

$$\alpha = \frac{W_D}{W_I} = \frac{\text{energia dissipata}}{\text{energia incidente}}$$

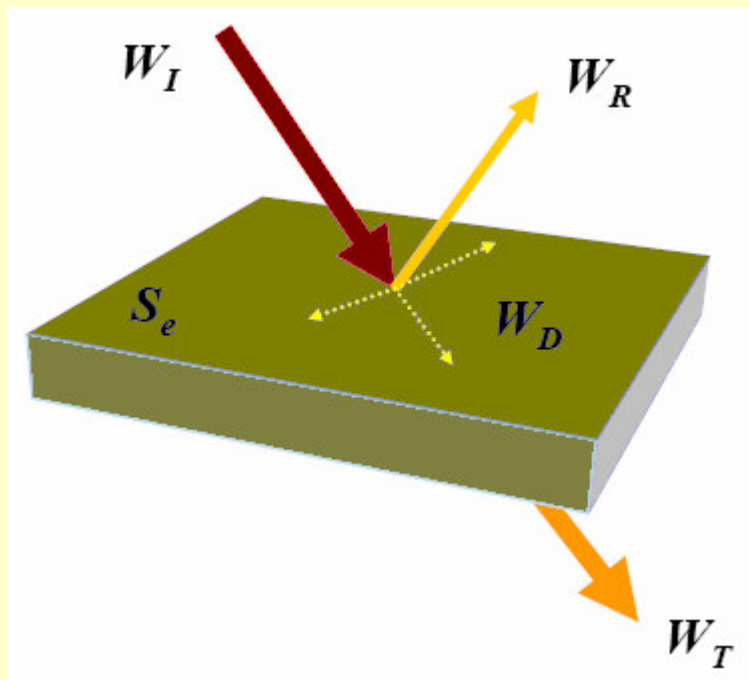


COEFFICIENTE DI ASSORBIMENTO NORMALE: IL SUONO INCIDE IN MODO PERPENDICOLARE

COEFFICIENTE DI ASSORBIMENTO “PER INCIDENZA CASUALE”: IL SUONO INCIDE DA TUTTE LE DIREZIONI

## IL COEFFICIENTE DI ASSORBIMENTO ACUSTICO APPARENTE

$$\alpha_{app} = \frac{W_i - W_r}{W_i} = \frac{W_d + W_t}{W_i}$$



$W_I$  = potenza incidente

$W_R$  = potenza riflessa

$W_D$  = potenza dissipata nel materiale

$W_T$  = potenza trasmessa

## ASSORBIMENTO TOTALE DI UN AMBIENTE

IN PRESENZA DI UN CAMPO SONORO DIFFUSO, L'ASSORBIMENTO ACUSTICO TOTALE DELL'AMBIENTE SI CALCOLA COME SOMMA DEI PRODOTTI DELLE SUPERFICI CHE DELIMITANO L'AMBIENTE PER IL RELATIVO VALORE DEL COEFFICIENTE DI ASSORBIMENTO ACUSTICO PER INCIDENZA CASUALE

$$A_{Tot} = \sum_{i=1}^n \alpha_i S_i = \bar{\alpha} S_{Tot}$$

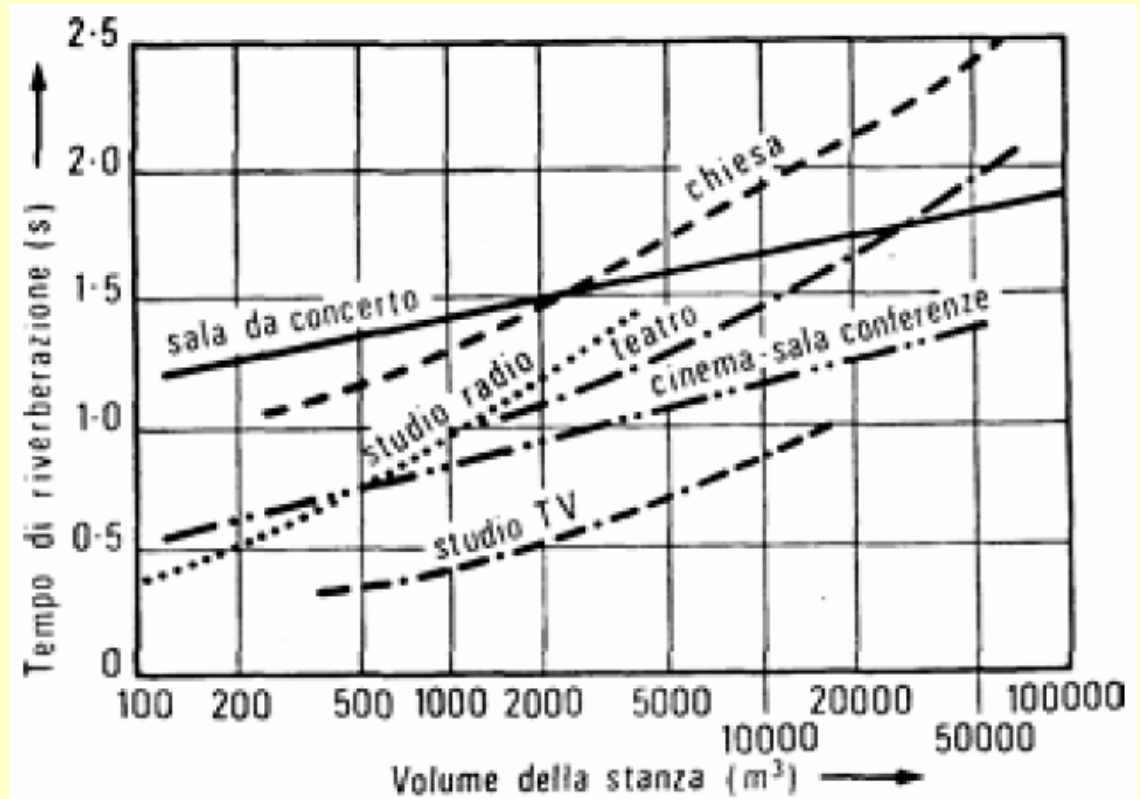
COEFFICIENTE DI  
ASSORBIMENTO MEDIO  
DELL'AMBIENTE:

$$\bar{\alpha} = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i S_i}{S_{Tot}}$$

LA FORMULA DI SABINE



$$T_{60} = 0,161 \frac{V}{A_{Tot}} = 0,161 \frac{V}{\bar{\alpha} \cdot S}$$



## UTILIZZO DEI MATERIALI FONDOASSORBENTI

CORREZIONE ACUSTICA → CONTROLLO DELLE RIFLESSIONI  
INDESIDERATE E DELLA RIVERBERAZIONE

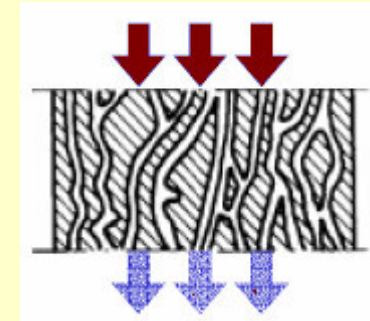
CONTROLLO DEL RUMORE → ATTENUAZIONE DEL LIVELLO DI  
PRESSIONE SONORA E SMORZAMENTO  
(ISOLAMENTO ACUSTICO)

L'OPPORTUNA COMBINAZIONE DI MATERIALI FONDOASSORBENTI  
CHE SFRUTTANO MECCANISMI DIVERSI PERMETTE  
L'ASSORBIMENTO DELL'ENERGIA SONORA SU TUTTO IL CAMPO  
DELLE FREQUENZE UDIBILI (SISTEMI MISTI)

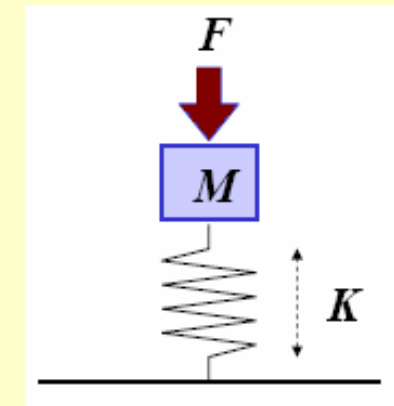


## LE MODALITÀ DI ASSORBIMENTO DEL SUONO

ASSORBIMENTO PER POROSITÀ: L'ENERGIA SONORA CHE SI PROPAGA ALL'INTERNO DI MATERIALI A STRUTTURA POROSA APERTA, È DISSIPATA PER UN FENOMENO DI ATTRITO VISCOSO

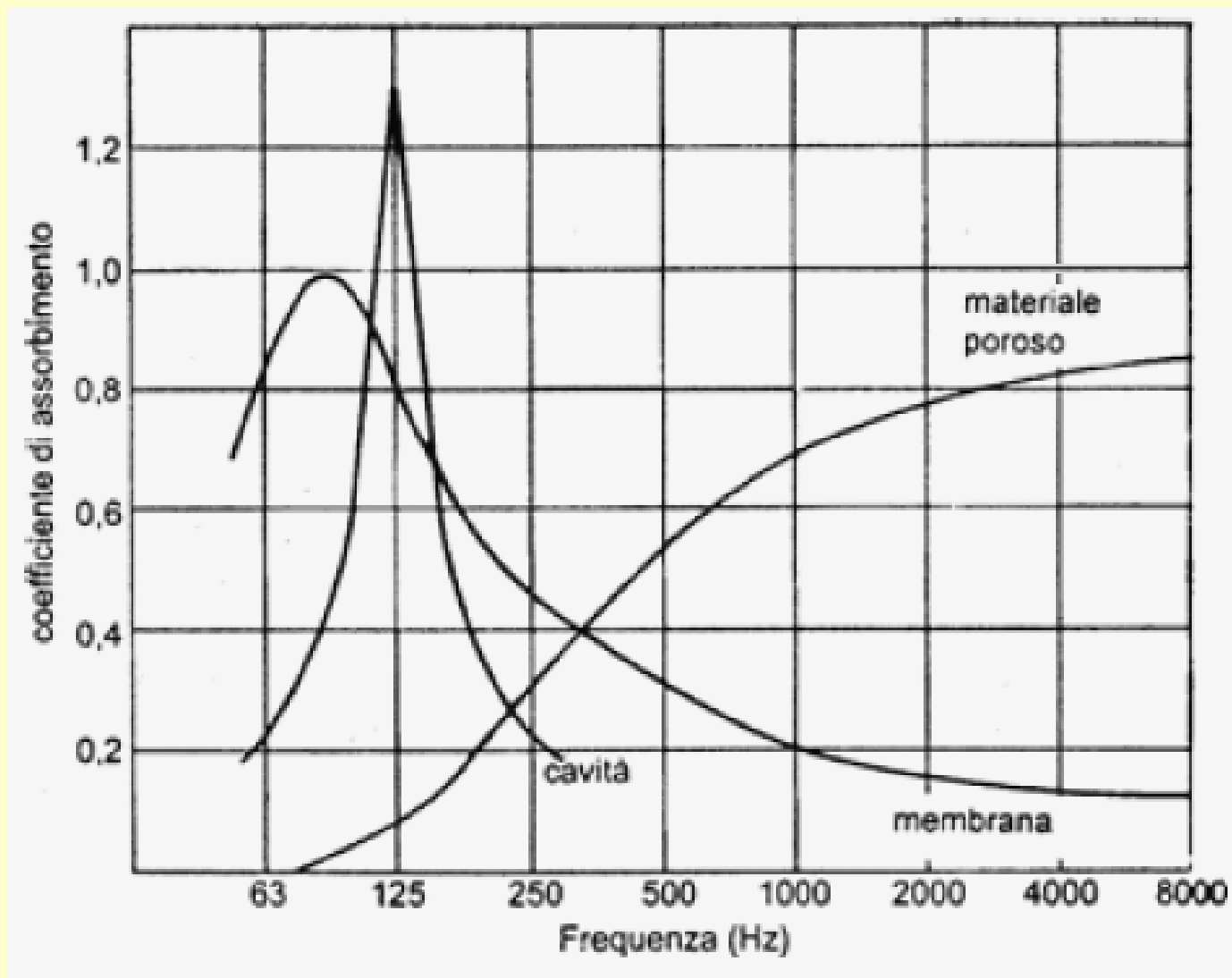


ASSORBIMENTO PER RISONANZA DI CAVITÀ: L'ENERGIA SONORA VIENE DISSIPATA PER UN FENOMENO DI SMORZAMENTO DELL'OSCILLAZIONE DI UNA MASSA D'ARIA PARZIALMENTE CONFINATA MESSA IN VIBRAZIONE DALLE ONDE SONORE INCIDENTI SULLA CAVITÀ



ASSORBIMENTO PER RISONANZA DI MEMBRANA: L'ENERGIA SONORA VIENE DISSIPATA PER UN FENOMENO DI SMORZAMENTO DELL'OSCILLAZIONE DI UNA SUPERFICIE VIBRANTE SOLLECITATA DALLE ONDE SONORE INCIDENTI

I COEFFICIENTI DI ASSORBIMENTO ACUSTICO



## ASSORBIMENTO PER POROSITÀ

NEI MATERIALI POROSI L'ASSORBIMENTO ACUSTICO AVVIENE PER DISSIPAZIONE VISCOSA DELL'ENERGIA MECCANICA DELL'ONDA SONORA IN CALORE, CIOÈ PER FENOMENI DI ATTRITO NELLE POROSITÀ (APERTE) DEL MATERIALE STESSO

L'ENTITÀ DELL'ASSORBIMENTO DIPENDE

- DALLA STRUTTURA DEL MATERIALE E DELLA SUPERFICIE DEL MATERIALE (POROSITÀ E DENSITÀ)
- DALLA FREQUENZA DELL'ONDA INCIDENTE (AUMENTA CON ESSA)
- DALLO SPESSORE (AUMENTA CON ESSO)

ESEMPI DI MATERIALI FONDOASSORBENTI POROSI: LANE DI ROCCIA, FIBRE MINERALI, SCHIUME MELAMMINICHE, POLIURETANI ESPANSI A GELLULE APERTE, FIBRE POLIESTERE, FIBRE VEGETALI, FELTRI, INTONACI ACUSTICI, ECC...

RESISTENZA AL  
FLUSSO D'ARIA

$$R = \frac{\Delta p}{Q_v} \quad [Pa \cdot s / m^3]$$

$\Delta p$  = differenza di pressione fra le due facce del materiale

$Q_v$  = portata d'aria che attraverso il provino

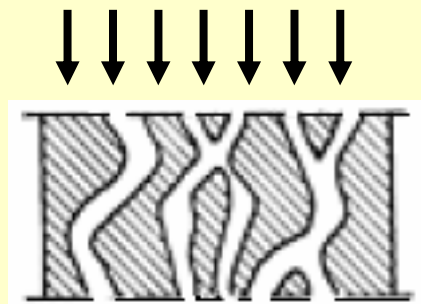
RESISTIVITÀ AL  
FLUSSO D'ARIA

$$r = \frac{R_s}{d} = \frac{R \cdot A}{d} = \frac{\Delta p}{d \cdot v} \quad [Pa \cdot s / m^2]$$

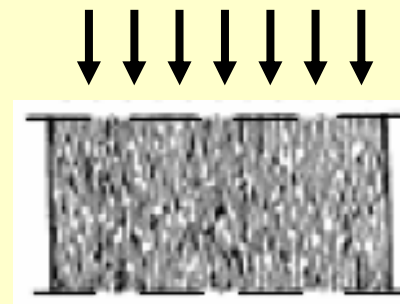
$A$  = sezione del materiale perpendicolare al flusso d'aria

$d$  = spessore del provino

$R_s$  = resistenza specifica al flusso d'aria



BASSA RESISTENZA



ALTA RESISTENZA

POROSITÀ DEL  
MATERIALE

$$H = \frac{V_p}{V_t} = \frac{1 - M}{V\rho_{reale}} = 1 - \frac{\rho_{app}}{\rho_{reale}}$$

$V_p$  = volume apparente del materiale

$V_t$  = volume totale del materiale

$\rho$  = densità del materiale

$M$  = massa del materiale

FATTORE DI  
STRUTTURA

$St$

L'IRREGOLARITÀ DI DISPOSIZIONE DEI PORI GARANTISCE UNA  
MAGGIORE DISSIPAZIONE DELL'ENERGIA SONORA

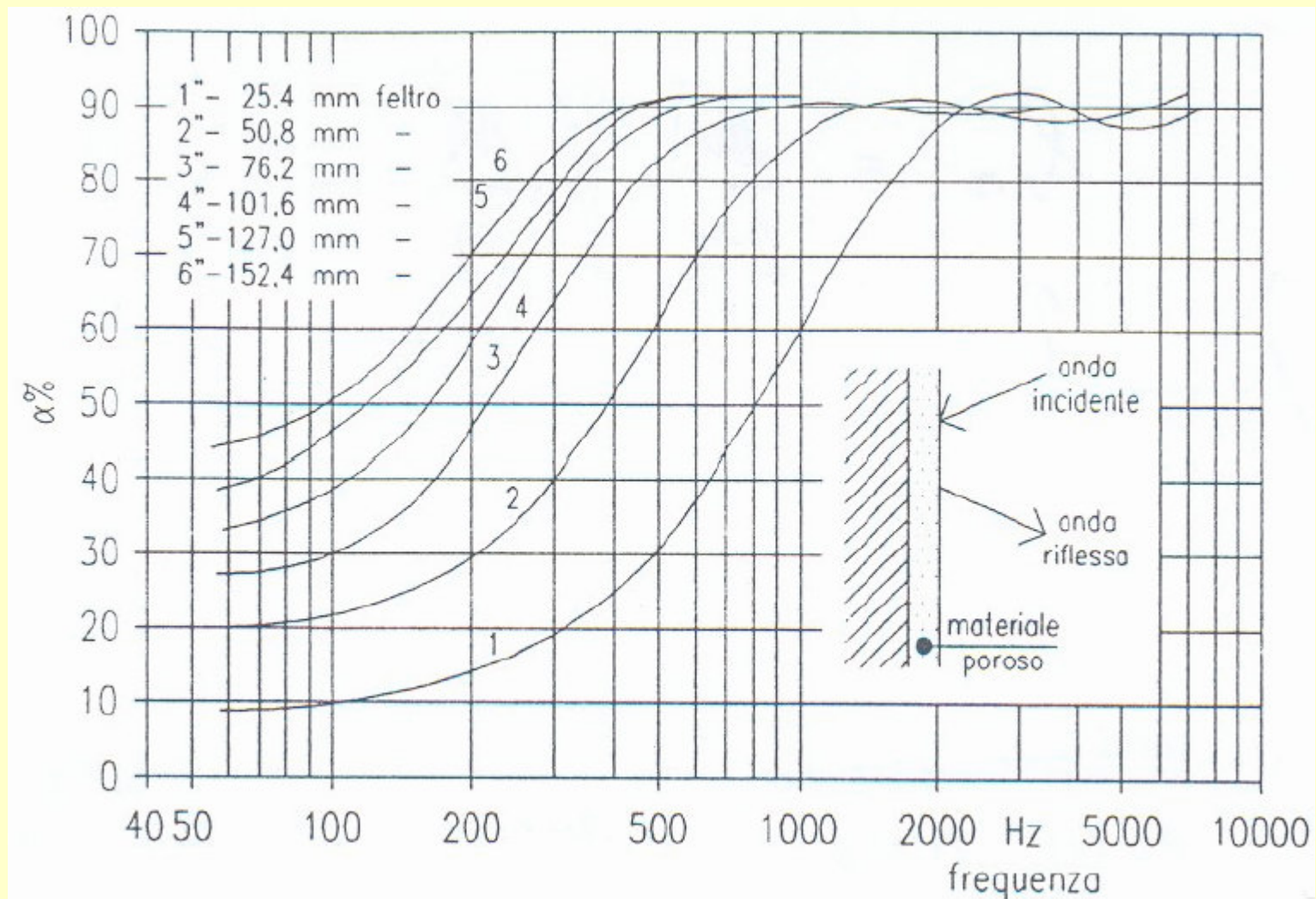
NON TUTTI I PORI PARTECIPANO ALLA DISSIPAZIONE DELL'ENERGIA  
SONORA, SOLO I PORI PRINCIPALI

$$H' = \frac{H}{St}$$

$$H' < H$$

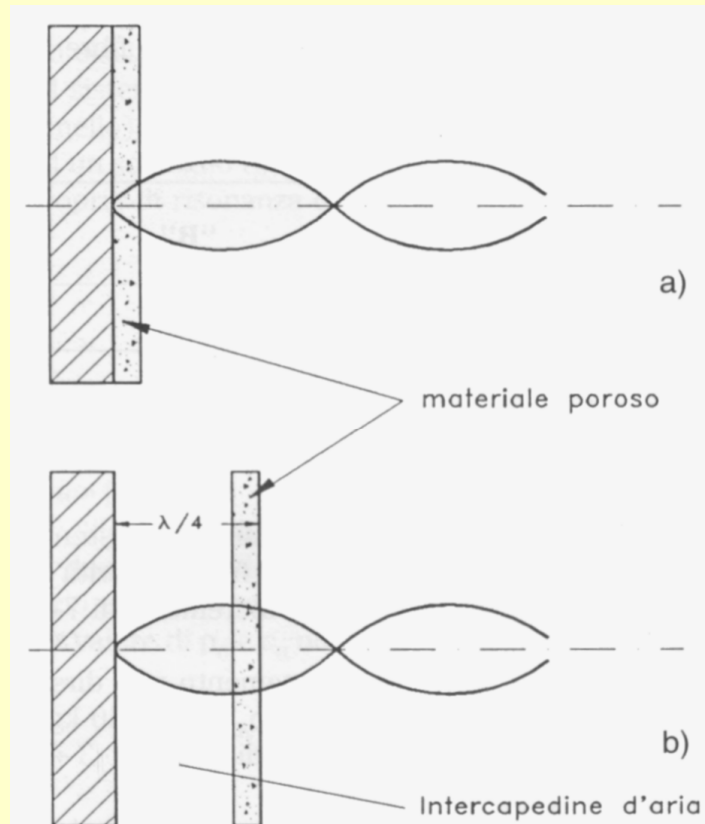
$$St > 1$$

## ANDAMENTO DELL'ASSORBIMENTO PER POROSITÀ CON LO SPESSORE DEL MATERIALE

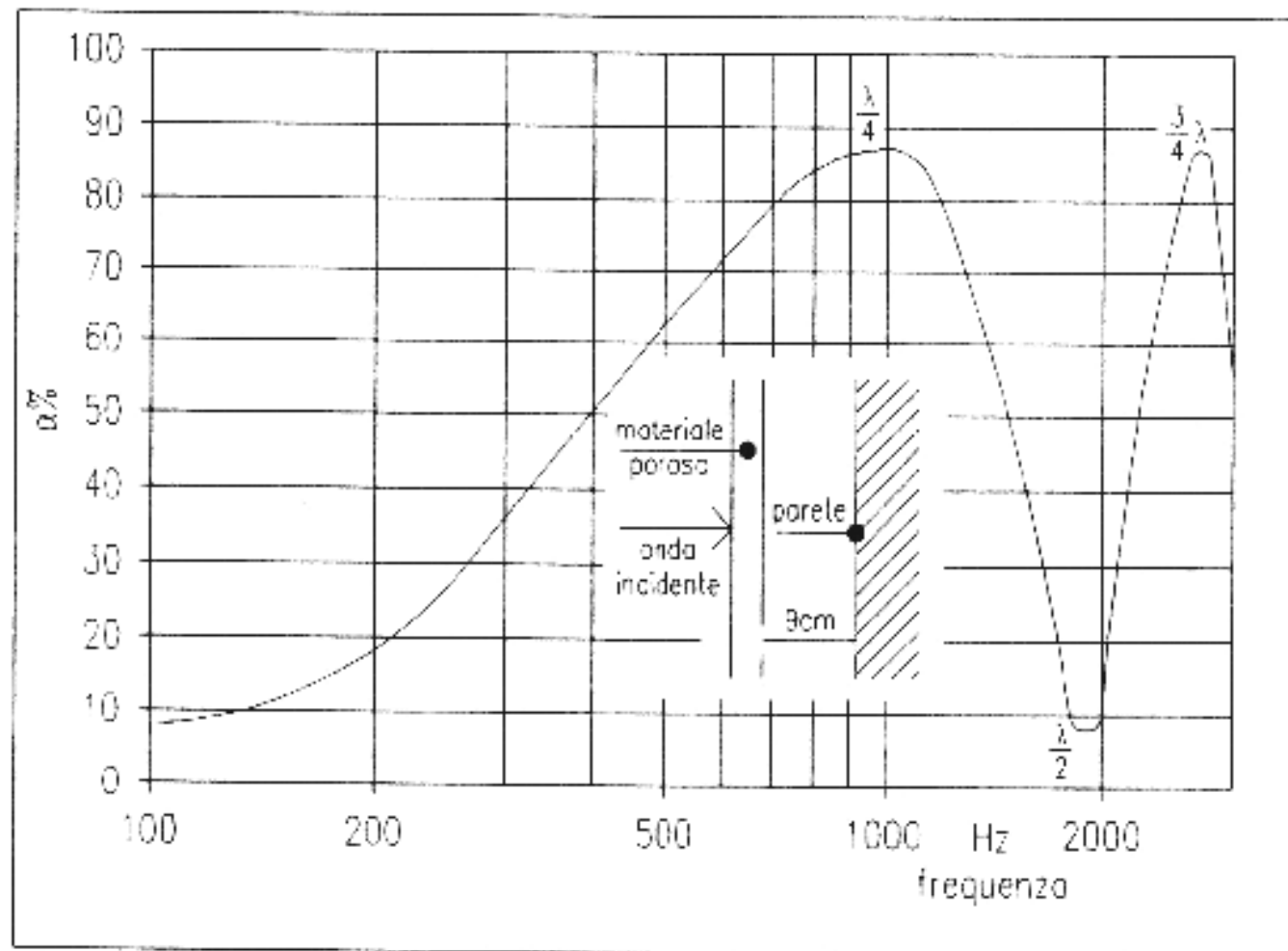


## L'ENTITÀ DELL'ASSORBIMENTO DIPENDE ANCHE DALL'INSTALLAZIONE DEL MATERIALE

- ✓ PRESENZA E SPESSORE DELL'INTERCAPEDINE POSTA DIETRO IL PANNELLO
- ✓ SISTEMA DI SOSPENSIONE
- ✓ TIPO DI RIVESTIMENTO SUPERFICIALE DEL PANNELLO



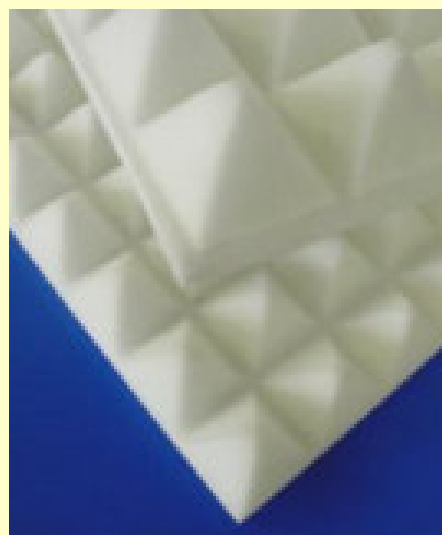
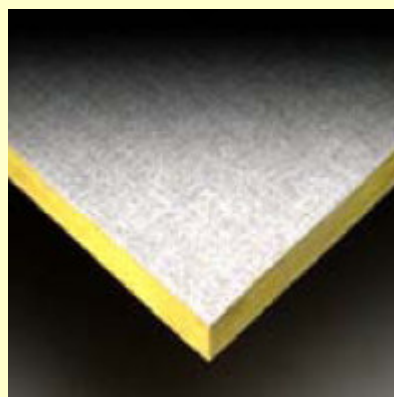
L'ENTITÀ DELL'ASSORBIMENTO DIPENDE ANCHE  
DALL'INSTALLAZIONE DEL MATERIALE





Resistenza al flusso di alcuni materiali

	[Pa·s/m]	Fonte
Cotone	0,06-50	Wisotzky
Lana minerale (50 Kg/m <sup>3</sup> )	6	Mechel-Muller
Lana minerale (116 Kg/m <sup>3</sup> )	34	Mechel-Muller
Intonaco poroso	17-32	Eijk-Zwicker
Feltro soffice	17	Wust
Feltro denso	32	Wust
Pannello di fibrocemento	3500-26000	Germant- Berl
Intonaco di gesso	8000	Raisch
Intonaco di cemento	33000	Raisch
Mattoni (escluso legante)	130000	Raisch



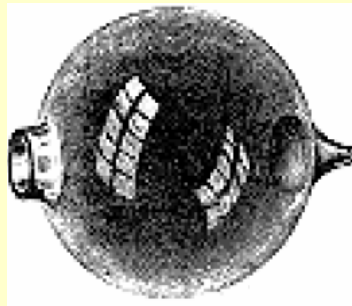
Porosità di alcuni materiali di frequente utilizzo

	<i>H</i>
Lana minerale	0,94 – 0,98
Feltro	0,83 – 0,95
Pannelli fibrosi	0,65 – 0,85
Mattoni	0,25 – 0,30
Mattoni refrattari	0,15 – 0,35
Piastrelle	0,02 – 0,06
Marmo	0,005

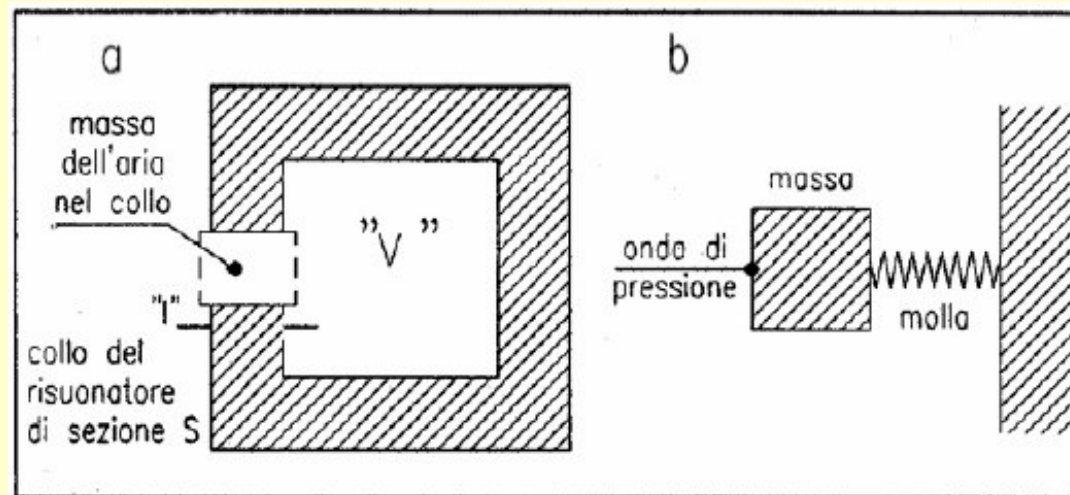


## ASSORBIMENTO PER RISONANZA DI CAVITÀ

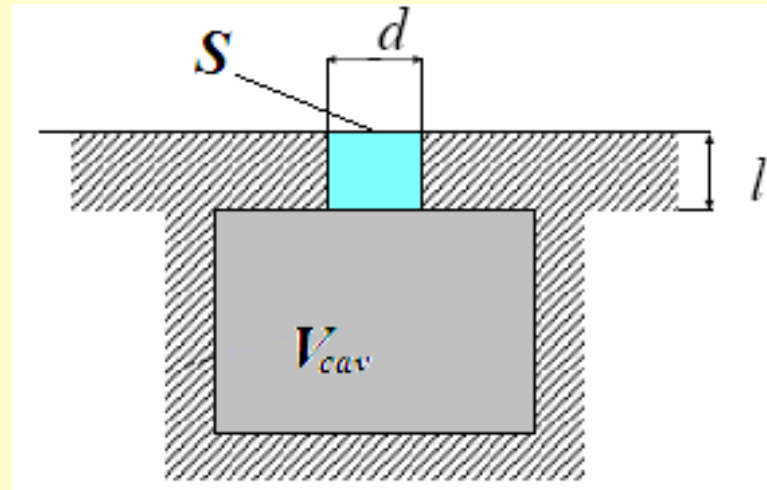
I COSIDDETTI 'RISUONATORI' SONO COSTITUITI DA UNA CAVITÀ CHE COMUNICA CON L'ESTERNO ATTRAVERSO UN FORO DETTO 'COLLO DEL RISUONATORE'.



IL RISUONATORE  
PUÒ ESSERE VISTO  
COME UN SISTEMA  
MASSA-MOLLA



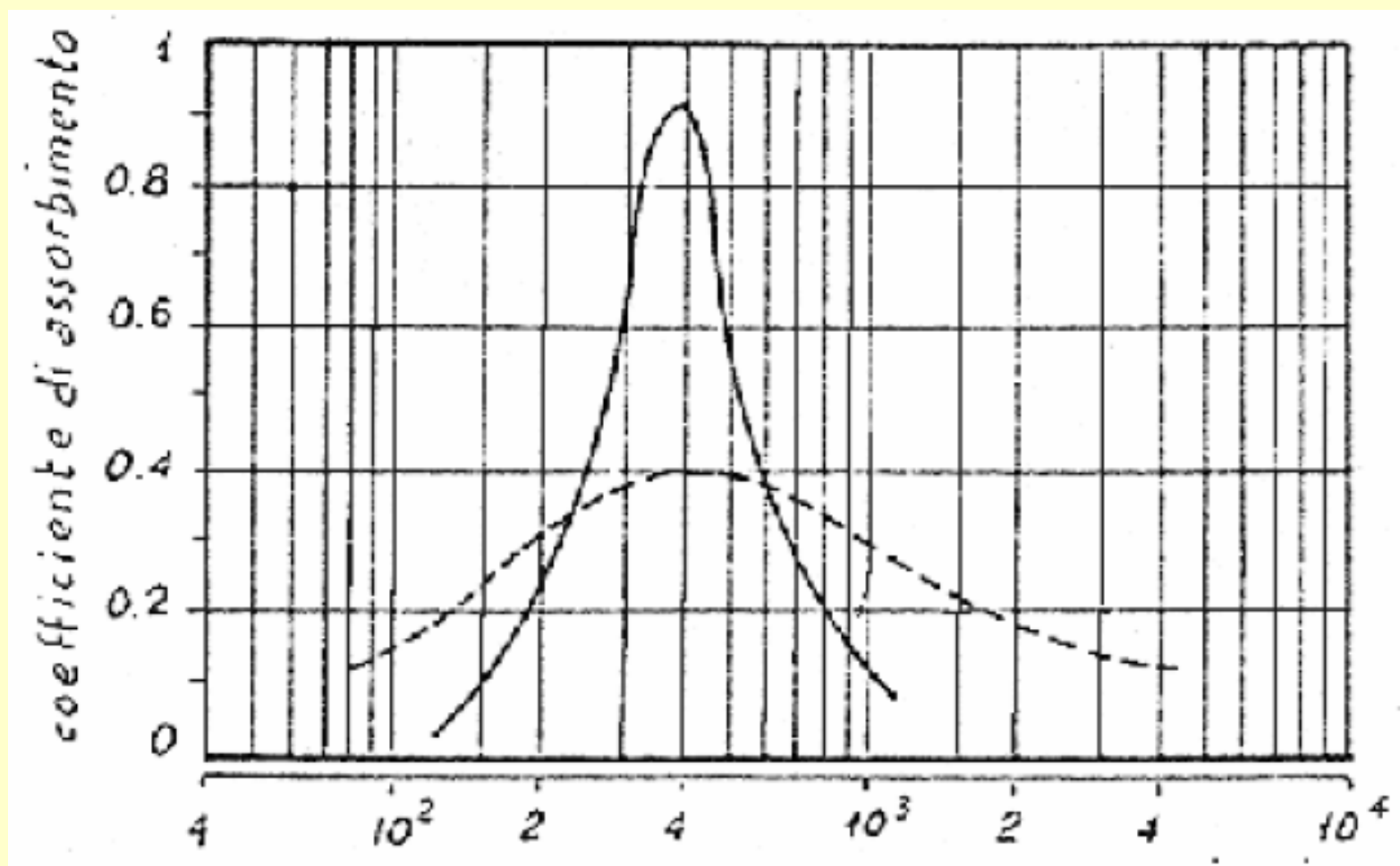
LA MASSIMA DISSIPAZIONE DI ENERGIA SI HA IN CORRISPONDENZA DELLA FREQUENZA DI RISONANZA DEL RISONATORE



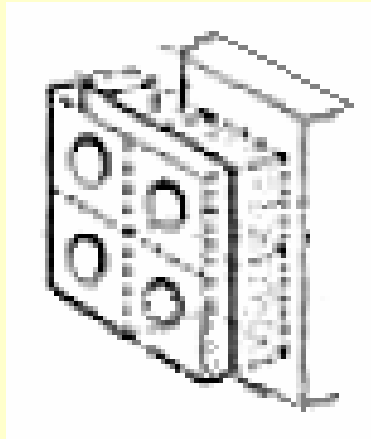
$$f_0 = \frac{c_0}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{V_{cav} \left( l + \frac{16d}{3\pi} \right)}} \quad [Hz]$$

I RISUONATORI SI COMPORTANO COME 'ASSORBITORI SELETTIVI IN FREQUENZA', IN GENERE NEL CAMPO DELLE BASSE O MEDIO-BASSE FREQUENZE

L'INSERIMENTO DI MATERIALE FONDOASSORBENTE NELLA CAVITÀ  
INFLUENZA LA CURVA DEL COEFFICIENTE DI ASSORBIMENTO ACUSTICO



## RISUONATORI MULTIPLI



$$f_r = \frac{c_0}{2\pi} \sqrt{\frac{P\%}{h(l + 1,6d)}} \quad [Hz]$$

$P\%$  = percentuale di foratura del pannello

$h$  = spessore intercapedine d'aria

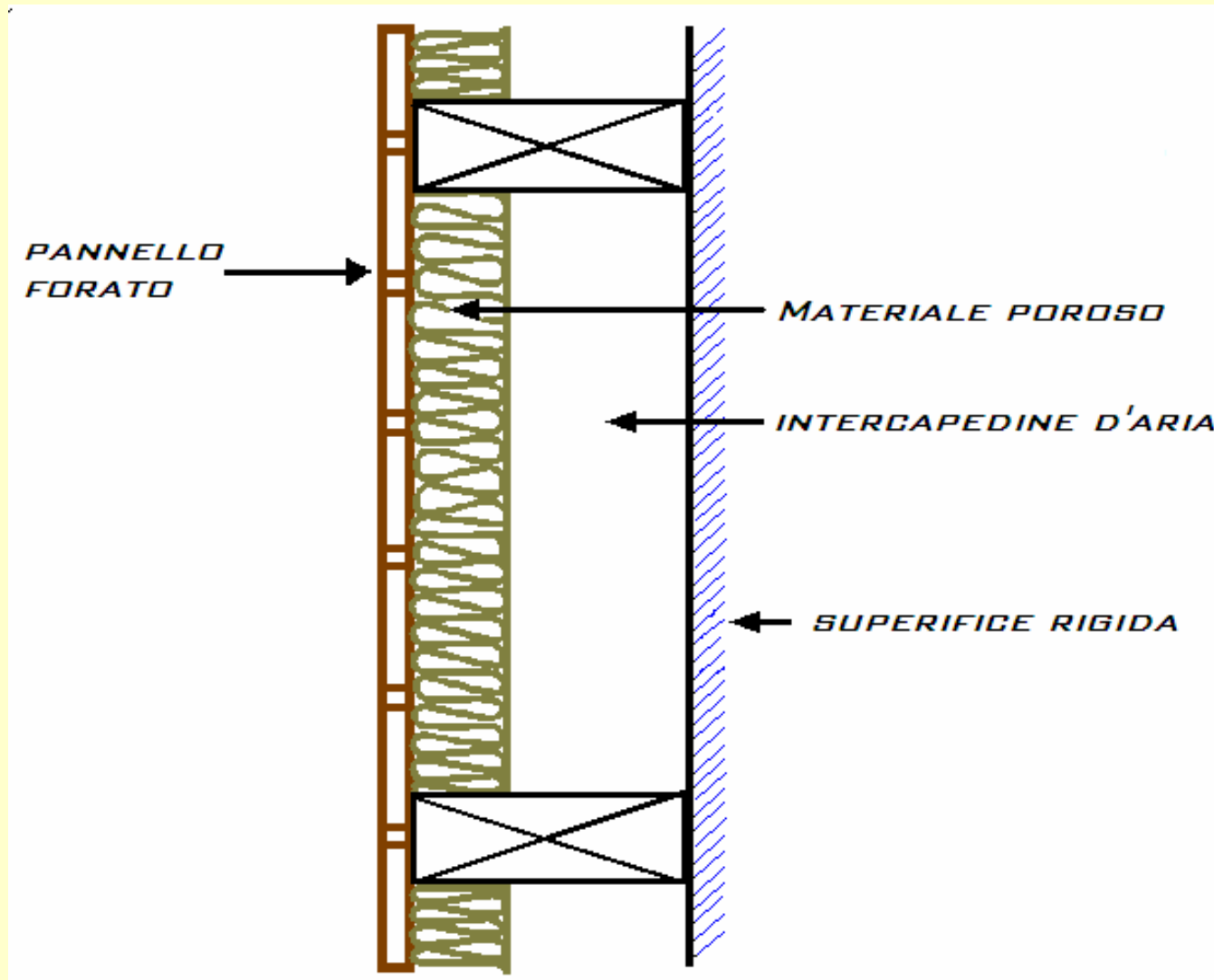
$l$  = lunghezza colli del risuonatore

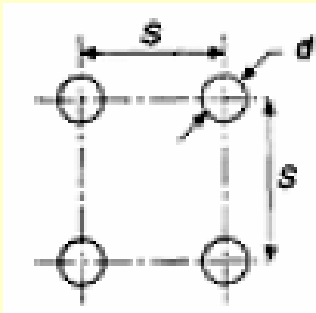
$d$  = raggio dei fori

LE FREQUENZE DI RISONANZA DEI PANNELLI FORATI SONO IN  
GENERE COMPRESSE NELL'INTERVALLO TRA 200 HZ E 5 KHZ

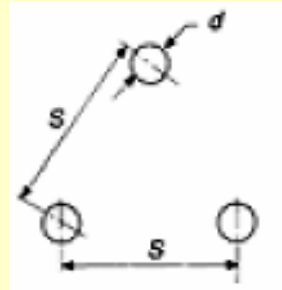
LE PROPRIETÀ DI ASSORBIMENTO DEI PANNELLI FORATI POSSONO ESSERE  
MIGLIORATE INSERENDO NELL'INTERCAPEDINE DEL MATERIALE  
FONDOASSORBENTE POROSO

## RISUONATORI MULTIPLI: PANNELLI FORATI

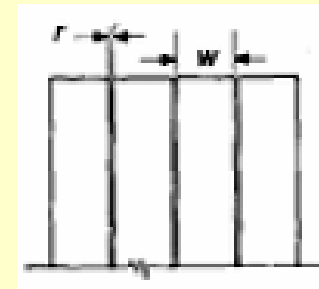




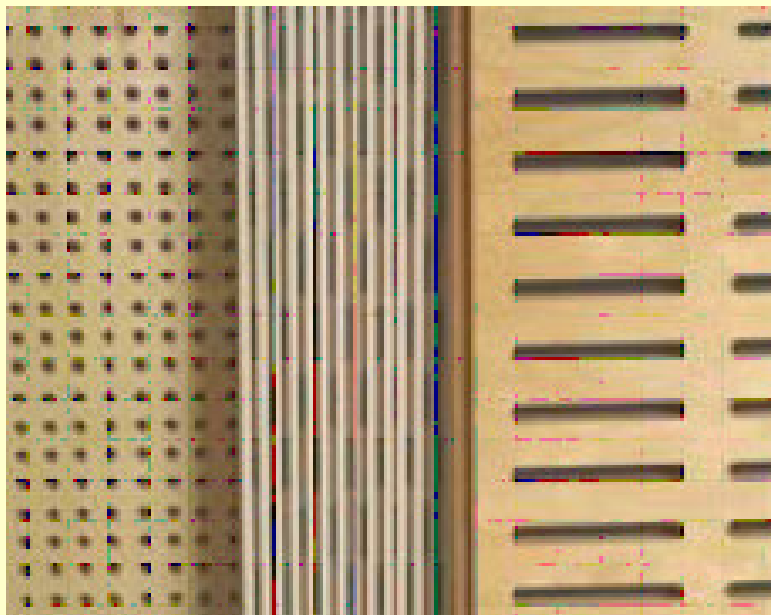
$$P\% = \frac{\pi}{4} \left( \frac{d}{s} \right)^2$$



$$P\% = \frac{\pi}{2\sqrt{3}} \left( \frac{d}{s} \right)^2$$

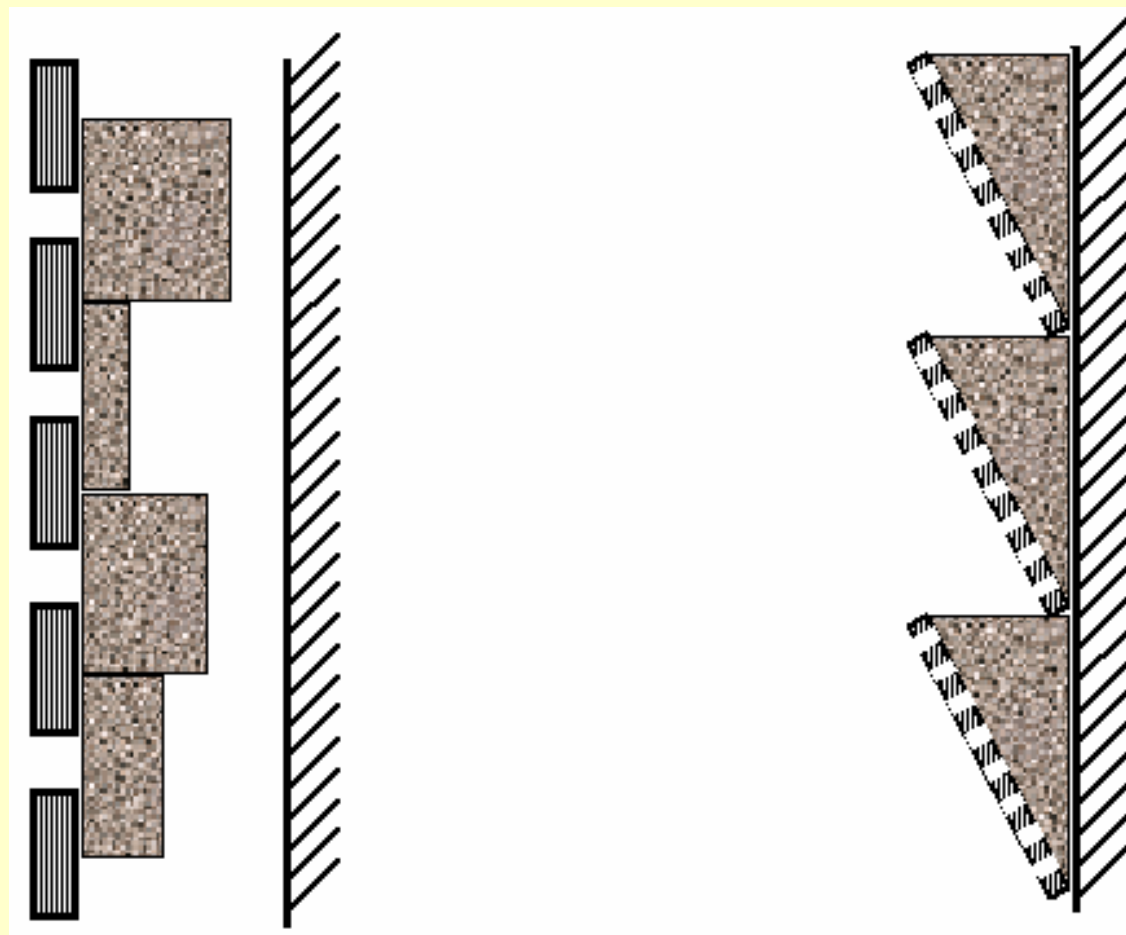


$$P\% = \frac{r}{W + r}$$



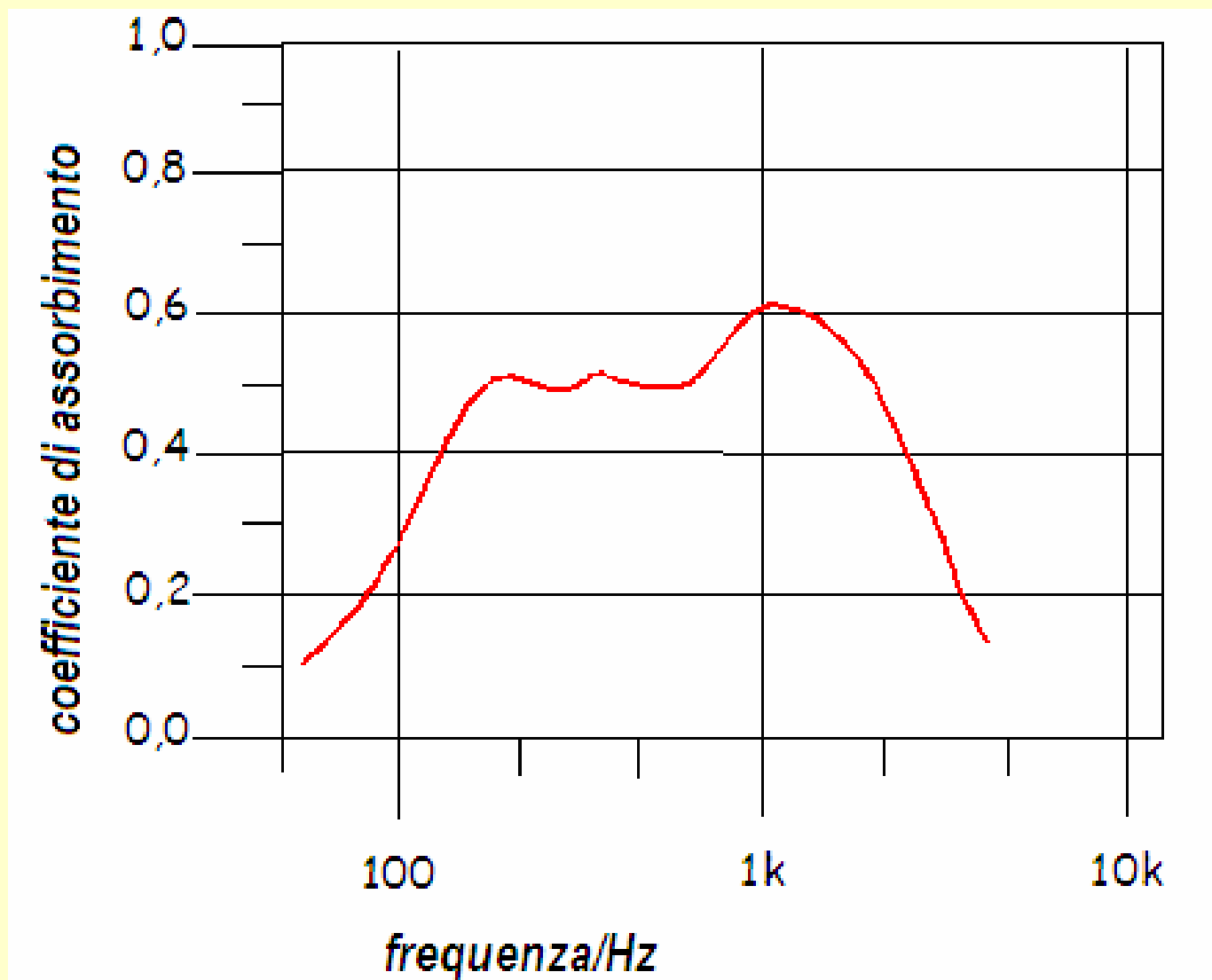
E' POSSIBILE OTTENERE UN ASSORBIMENTO DISTRIBUITO SU UN RANGE DI FREQUENZE PIÙ AMPIO, UTILIZZANDO PANNELLI CON FORI DI DIAMETRO DIFFERENTE.

## RISUONATORI MULTIPLI: PANNELLI FORATI

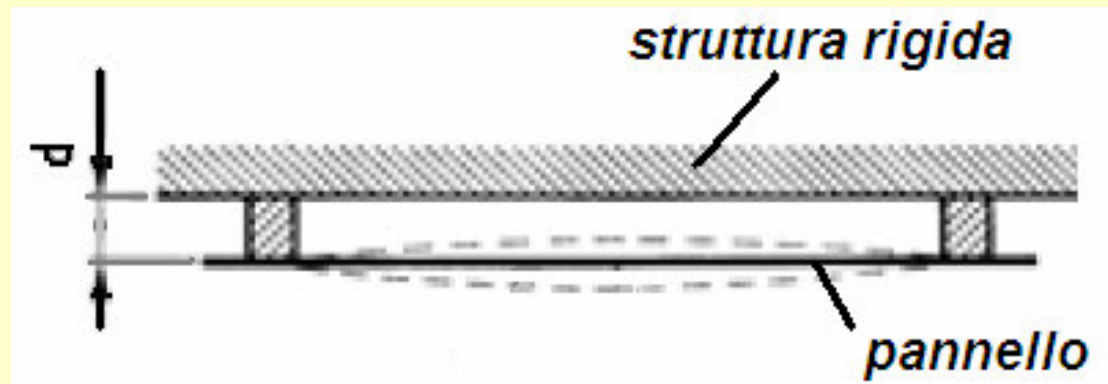




## RISUONATORI MULTIPLI: PANNELLI FORATI



## ASSORBIMENTO PER RISONANZA DI MEMBRANA

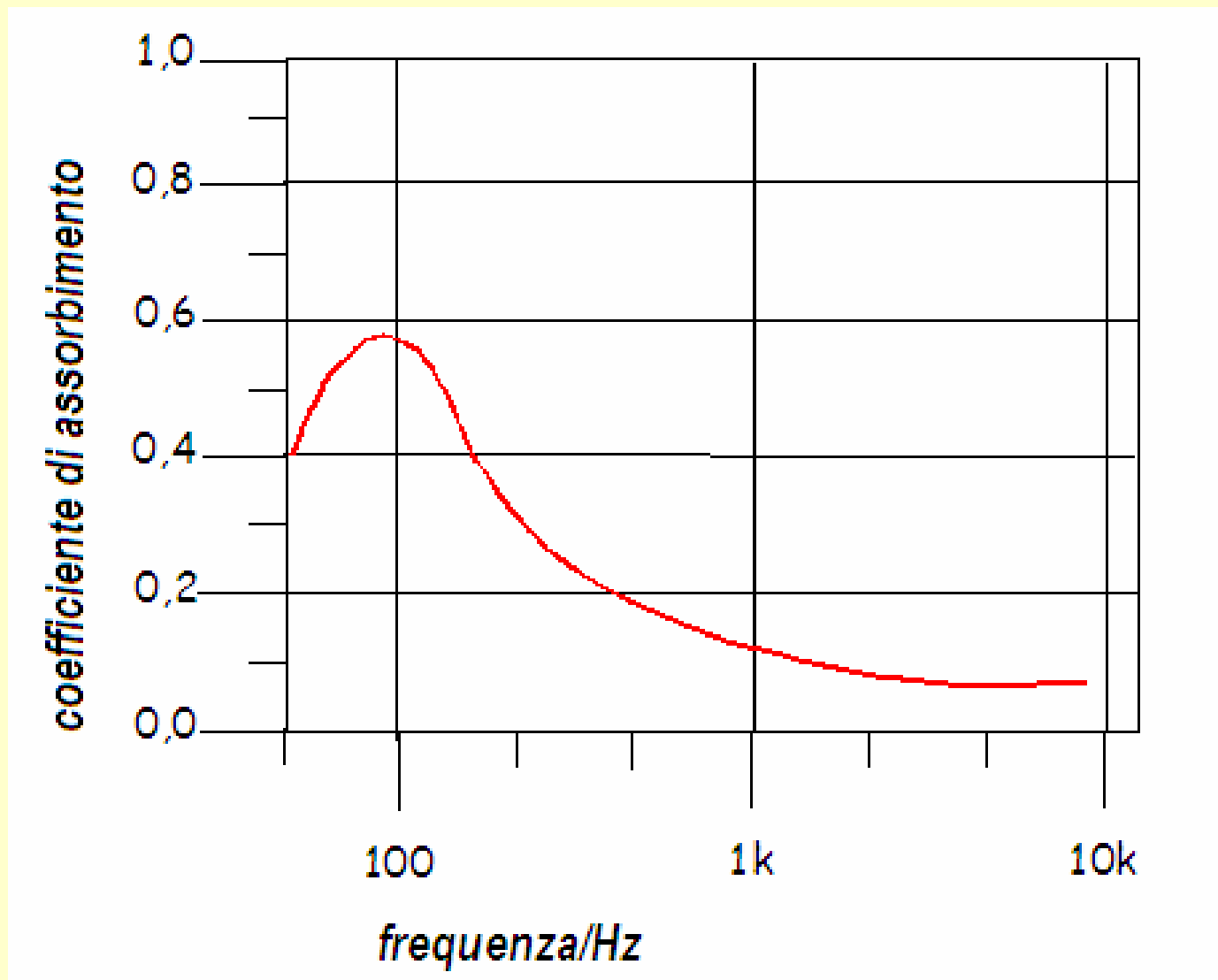


$$f_{ris} = \frac{60}{\sqrt{m d}} \quad [Hz]$$

$m$  = massa areica del pannello  $[kg / m^2]$

$d$  = spessore intercapedine

## ASSORBIMENTO PER RISONANZA DI MEMBRANA



## LA MISURA DEL COEFFICIENTE DI ASSORBIMENTO ACUSTICO, $\alpha$

ESISTONO DUE METODI NORMATI PER LA MISURA DEL COEFFICIENTE DI ASSORBIMENTO ACUSTICO:

- IN CAMERA RIVERBERANTE, PER INCIDENZA CASUALE
- NEL TUBO AD ONDE STAZIONARIE PER INCIDENZA NORMALE

LA NORMA ISO 354-2003, ACOUSTICS – MEASUREMENT OF SOUND ABSORPTION IN A REVERBERATION ROOM, SPECIFICA LA MISURA DEL COEFFICIENTE ACUSTICO AD ‘INCIDENZA CASUALE’, IN CAMERA RIVERBERANTE.

INOLTRE, IN CAMERA RIVERBERANTE È POSSIBILE MISURARE IL COEFFICIENTE DI ASSORBIMENTO AD INCIDENZA CASUALE DI MATERIALI E OGGETTI DISCRETI (POLTRONE, PERSONE, ECC...)

**LA MISURA SI EFFETTUA IN MODO INDIRETTO IN CAMPO DIFFUSO  
(CAMERA RIVERBERANTE) MEDIANTE CALCOLO A PARTIRE DA MISURE  
DEL TEMPO DI RIVERBERAZIONE CON E SENZA CAMPIONE**

**PER IL CALCOLO DEL TEMPO DI RIVERBERAZIONE  
VIENE ADOTTATA LA FORMULA DI SABINE**



AREA DI  
ASSORBIMENTO  
EQUIVALENTE

$$A = 55,3 \frac{V}{c} \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \quad [m^2]$$

$T_1$  = tempo di riverberazione camera vuota [s]

$T_2$  = tempo di riverberazione camera contenente il campione [s]

$V$  = volume camera riverberante [ $m^3$ ]

$c$  = velocità propagazione del suono nell'aria

COEFFICIENTE DI  
ASSORBIMENTO  
ACUSTICO

$$\alpha = \frac{A}{S}$$

$S$  = superficie del campione [ $m^2$ ]

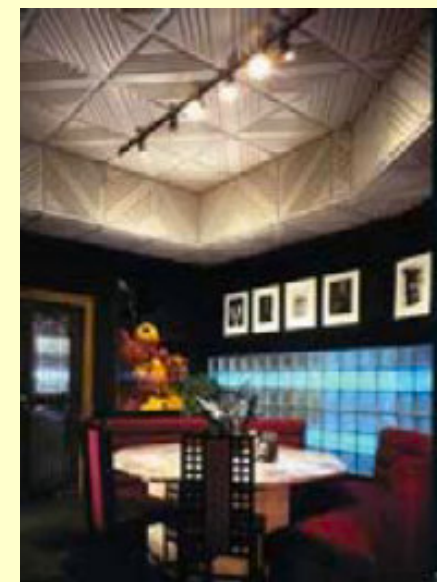
LA MISURA VIENE ESEGUITA PER BANDE DI 1/3 D'OTTAVA NEL CAMPO  
DI FREQUENZE TRA 100 HZ E 5 KHZ

ESEMPI DI APPLICAZIONI

**BAFFLES**



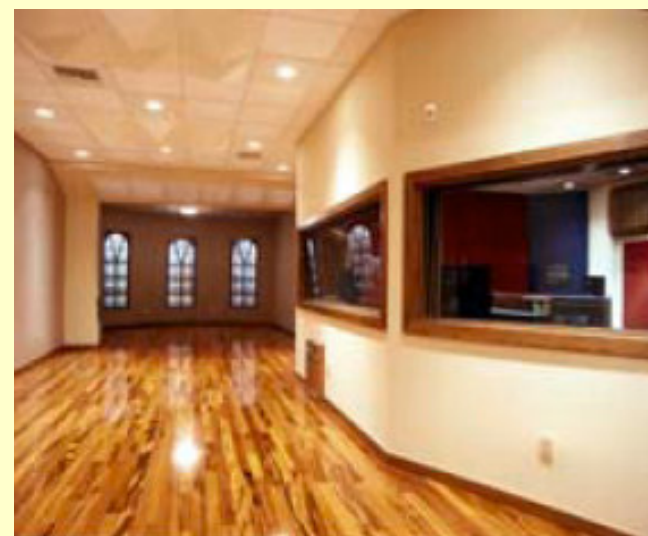
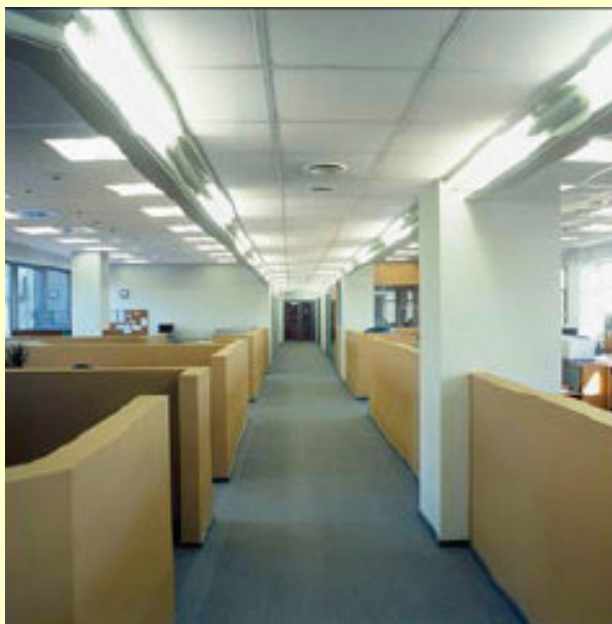
ESEMPI DI APPLICAZIONI  
CONTROSOFFITTI





ESEMPI DI APPLICAZIONI

**CONTROSOFFITTI**



ESEMPI DI APPLICAZIONI

PANNELLI FONDOASSORBENTI



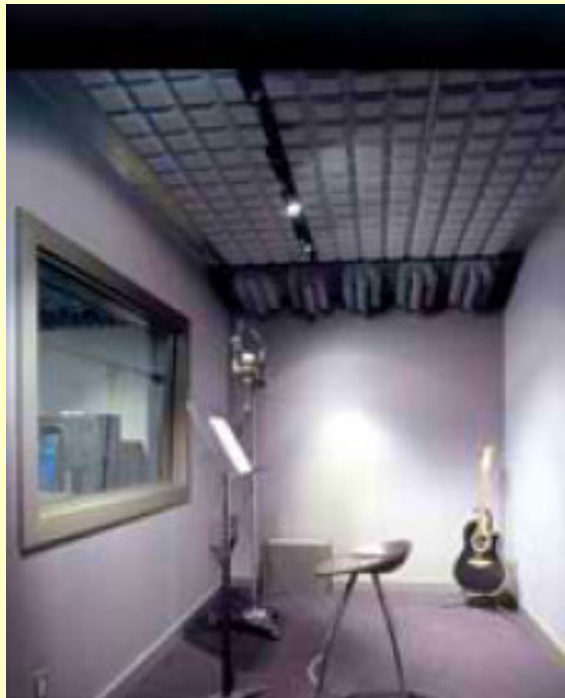
ESEMPI DI APPLICAZIONI

**CABINE E SCHERMATURE**



ESEMPI DI APPLICAZIONI

STUDI DI REGISTRAZIONE



ESEMPI DI APPLICAZIONI

SALE CONFERENZA/TEATRI



ESEMPI DI APPLICAZIONI  
AMBIENTI VARI



ESEMPI DI APPLICAZIONI

AMBIENTI VARI



ESEMPI DI APPLICAZIONI

SILENZIATORI INDUSTRIALI





## COEFFICIENTI DI ASSORBIMENTO

Tipo di materiale/elemento	Spessore [mm]	Coefficiente di assorbimento per bande d'ottava								$\alpha_w$
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
<i>Superfici interne normali</i>										
Muratura in mattoni	-	0,05	0,05	0,04	0,02	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05
Calcestruzzo	-	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0
Lastra di vetro di 1 m <sup>2</sup> (spessore fino a 4 mm)	4	0,25	0,35	0,25	0,20	0,10	0,05	0,05	0,05	0,1 (L)
Lastra di vetro di 1 m <sup>2</sup> (spessore 6 mm)	6	0,08	0,15	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	0,05
Marmo o piastrelle vetrificate	-	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Intonaco su muro pieno	12	0,04	0,04	0,05	0,06	0,08	0,04	0,06	0,05	0,1
Acqua (superficie di una piscina)	-	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0

## I MATERIALI FONDOASSORBENTI

<i>Rivestimenti di pareti e soffitti</i>	Spessore [mm]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	$\alpha_w$
Tende appese a pieghe contro un muro pieno	-	0,05	0,05	0,15	0,35	0,40	0,50	0,50	0,40	0,4
Intonaco "acustico" (valori tipici)	12	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,35	0,25
Materassini di lana di vetro o di roccia (valori tipici per materiali di media densità)	25	0,05	0,10	0,30	0,65	0,85	0,85	0,80	0,75	0,6 (MH)
Materassini di lana di vetro o di roccia (valori tipici per materiali di media densità)	50	0,10	0,20	0,45	0,65	0,75	0,80	0,80	0,80	0,7
Materassini di lana di vetro o di roccia (valori tipici per materiali di media densità)	100	0,25	0,45	0,75	0,80	0,85	0,85	0,90	0,85	0,85
Materassini di lana di vetro o di roccia (valori tipici per materiali di media densità)	150	0,35	0,55	0,90	0,90	0,85	0,90	0,95	0,95	0,9
Schiuma di poliuretano espanso a cellule aperte	25	0,10	0,15	0,30	0,60	0,75	0,85	0,90	0,90	0,6 (H)
Schiuma di poliuretano espanso a cellule aperte	50	0,15	0,25	0,50	0,85	0,95	0,90	0,90	0,90	0,8
Schiuma di poliuretano espanso a cellule aperte	100	0,30	0,50	0,70	0,95	1	1	1	1	0,95
Lastra di gesso, di 9 mm di spessore, fissata su listelli di legno con interasse di 0,5 m; intercapedine d'aria di 18 mm riempita con lana di vetro	27	0,25	0,30	0,20	0,15	0,05	0,05	0,05	0,05	0,1 (L)
Legno compensato, di 5 mm di spessore, fissata su listelli di legno con interasse di 1 m; intercapedine d'aria di 50 mm riempita con lana di vetro	55	0,30	0,40	0,35	0,20	0,15	0,05	0,05	0,05	0,15 (L)
Legno compensato, di 12 mm di spessore, fissata su listelli di legno con interasse di 1 m; intercapedine d'aria di 59 mm riempita con lana di vetro	71	0,25	0,30	0,20	0,15	0,10	0,15	0,10	0,05	0,15 (L)
Masonite, di 3 mm di spessore, con rivestimento in feltro di 50 mm	53	0,50	0,90	0,45	0,25	0,15	0,10	0,10	0,05	0,15 (L)
Pannelli di gesso per rivestimenti murali e controsoffittature con grandi intercapedini d'aria	-	0,20	0,20	0,15	0,10	0,05	0,05	0,05	0,05	0,1 (L)
Cartone di fibra su supporto rigido	12	0,05	0,05	0,10	0,15	0,25	0,30	0,30	0,25	0,25

Tipo di materiale/elemento	Spessore [mm]	Coefficiente di assorbimento per bande d'ottava								$\alpha_w$	
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
<i>Pavimentazioni</i>											
Battuto di cemento	-	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Moquette a pelo raso, su substrato di feltro	6	0,05	0,05	0,05	0,10	0,20	0,45	0,65	0,65	0,65	0,2 (H)
Moquette a pelo medio, su substrato di gommapiuma	10	0,05	0,05	0,10	0,30	0,50	0,65	0,70	0,65	0,65	0,35 (H)
Moquette a pelo alto, su substrato di gommapiuma	15	0,05	0,15	0,25	0,50	0,60	0,70	0,70	0,65	0,65	0,5 (H)
Piastrelle di gomma	6	0,05	0,05	0,05	0,10	0,10	0,05	0,05	0,05	0,05	0,1
<i>Pannelli per rivestimenti acustici</i>											
Fissati direttamente a parete o a soffitto, con piccola intercapedine d'aria (valori minimi)	12-75	0,05	0,10	0,25	0,50	0,60	0,60	0,45	0,45	0,45	0,5
Fissati direttamente a parete o a soffitto, con piccola intercapedine d'aria (valori massimi)	12-75	0,15	0,20	0,60	0,80	0,85	0,80	0,75	0,75	0,75	0,8
Montati come soffitti sospesi (valori minimi)	-	0,15	0,30	0,40	0,50	0,65	0,75	0,70	0,65	0,65	0,6
Montati come soffitti sospesi (valori massimi)	-	0,30	0,50	0,60	0,90	0,90	0,85	0,80	0,75	0,75	0,85
<i>Arredi</i>											
Assorbimento totale equivalente in m <sup>2</sup>											
Poltrona imbottita, occupata	-	0,15	0,20	0,40	0,45	0,45	0,50	0,45	0,40	0,40	0,5
Sedia in legno o parzialmente imbottita, occupata	-	0,10	0,15	0,25	0,40	0,40	0,45	0,40	0,35	0,35	0,45
Poltrona imbottita, non occupata	-	0,05	0,10	0,20	0,30	0,30	0,30	0,35	0,30	0,30	0,3
Sedia in legno o parzialmente imbottita, non occupata	-	0,02	0,03	0,05	0,05	0,10	0,15	0,10	0,10	0,10	0,1