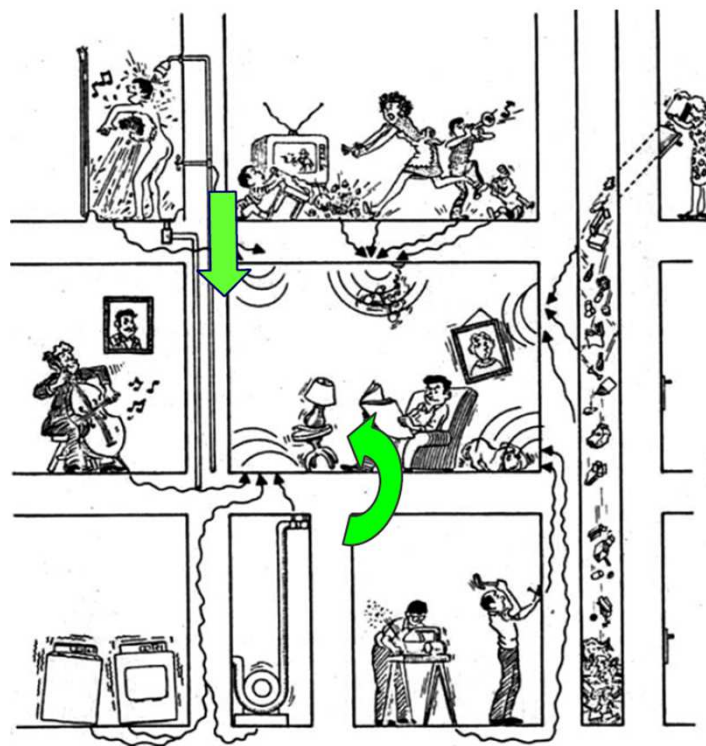


FONOASSORBIMENTO



Riflessione (r)

$$\left[\begin{array}{ccc} W_r & & \\ & W_t & \\ & & W_a \end{array} \right]$$

Trasmissione (t)

Absorbimento =

$$W_i = W_r + W_t + W_a$$

acustico

$$\alpha = \text{coeff. di assorbimento} = \frac{W_a}{W_i}$$

$$r = \text{coeff. di riflessione} = \frac{W_r}{W_i}$$

$$t = \text{coeff. di trasmissione} = \frac{W_t}{W_i}$$

è chiamata apparente perché non considera W_t (bello sorgente)

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

$$\alpha = \text{coeff. di assorbimento acustico apparente} = 1 - r =$$

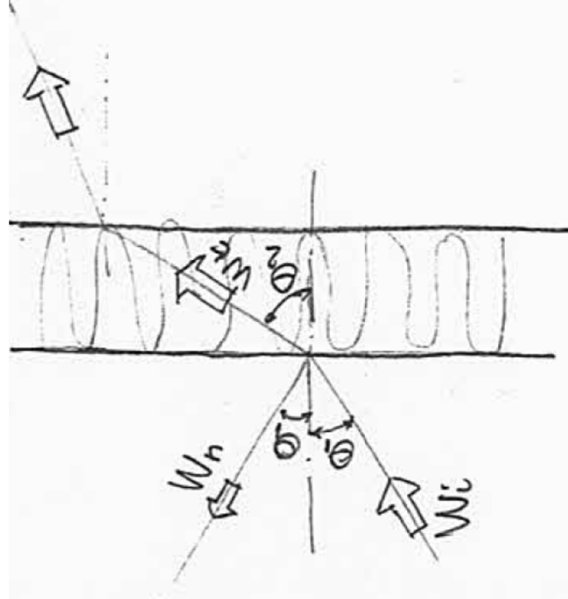
FOFORD ASSORBIMENTO (bello sorgente)

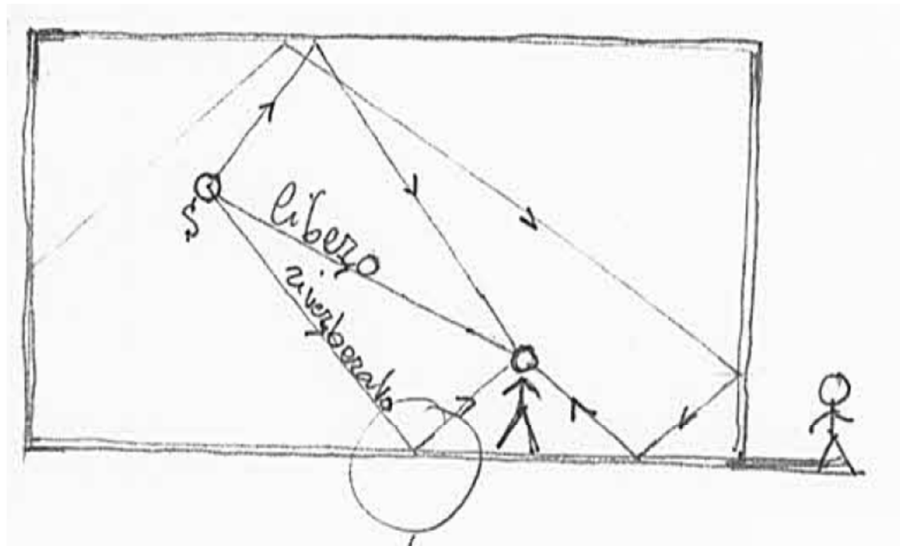
$$R = \text{potere fonoisolante} = 10 \lg \frac{1}{t} = 10 \lg \frac{W_i}{W_t} = 20 \lg (m') + 20 \lg (f) - 42.5$$

massa per unità di superficie
[kg/m²]
frequenza

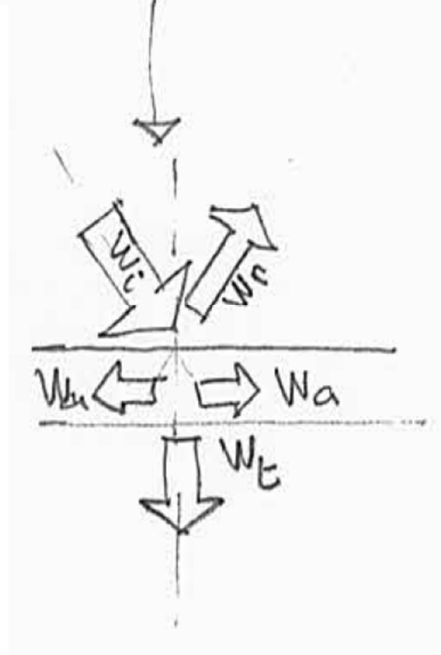
FOFORD ISOLAMENTO (bello ricevente)

I materiali fonoassorbenti hanno bassa rigidità, bassa densità, elevata porosità
I materiali fonoisolanti hanno elevata rigidità, elevata densità, bassa porosità
I primi li uso per attenuare il livello sonoro dal lato della sorgente, i secondi per schermare il ricevente. Se li combiniamo ho un effetto doppio (Barriera acustiche).





$$\text{libero cammino medio} = \frac{4V}{S}$$



$$W_i = W_r + W_a + W_t$$

↑ incidente
↑ riflessa
↑ assorbita

↑ trasmessa

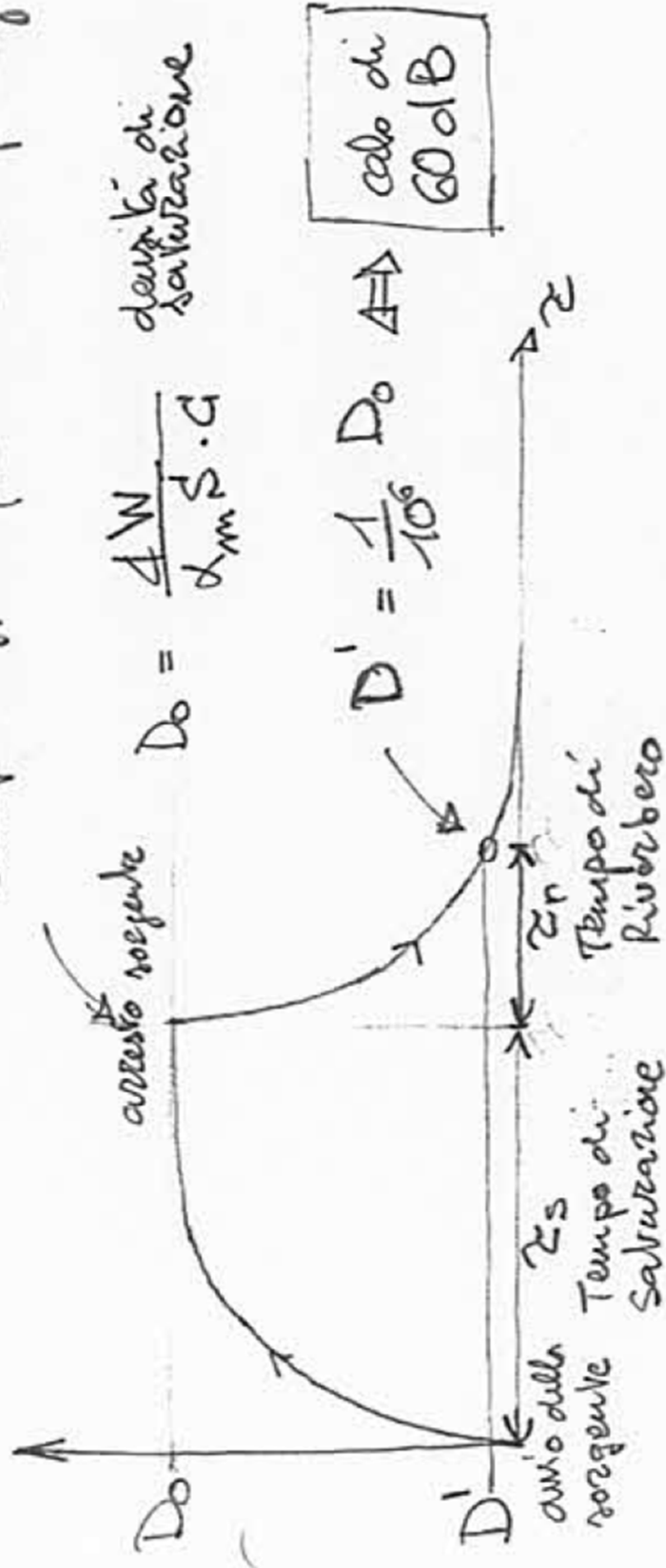
D = densità sonora

$$= \frac{E}{V} = \frac{I \cdot S \cdot d\tau}{V} = \frac{p^2}{\rho c} \cdot \frac{S \cdot d\tau}{S \cdot L}$$

per un'onda piana

$$= \frac{p^2}{\rho c^2} \quad (\text{val. convergere in tutti i casi})$$

Campo diffuso (senza dilazioni privilegiate)



$$E = D \cdot V = I \cdot \Delta z \cdot s \Rightarrow \Delta z = \frac{DV}{IS}$$

in condizioni di saturazione
 $D = D_0$

$$= \frac{\frac{4W}{\rho_m \cdot s \cdot c} \cdot \frac{d_m s}{W}}{\frac{4V}{s \cdot c}} = \frac{N}{s}$$

Se interrompo la sorgente, dato r_m il coefficiente di riflessione media, ad ogni intervallo Δz , la densità sonora diventa:

$$D_{\Delta z} = D_0 \cdot r_m$$

$$D_{2\Delta z} = D_{\Delta z} \cdot r_m = (D_0 r_m) \cdot r_m$$

$$\vdots$$

$$D_{n\Delta z} = D_0 \cdot r_m^n$$

$$\Rightarrow D_z = D_0 \cdot r_m^{\frac{z}{\Delta z}} = D_0 \cdot r_m^{2 \cdot \frac{sc}{4V}}$$

posto $z = n \cdot \Delta z$

Quindi:

$$\frac{D_z}{D_0} = \frac{I_z}{I_0} = r_m^{2 \cdot \frac{sc}{4V}}$$

Si definisce τ_c = tempo caratteristico di riverbero, quel tempo per cui $\frac{D\tau_c}{D_0} = 10^{-6}$

$$\Rightarrow 10^{-6} = \Gamma_m \cdot \tau_c \frac{S_c}{4V}$$

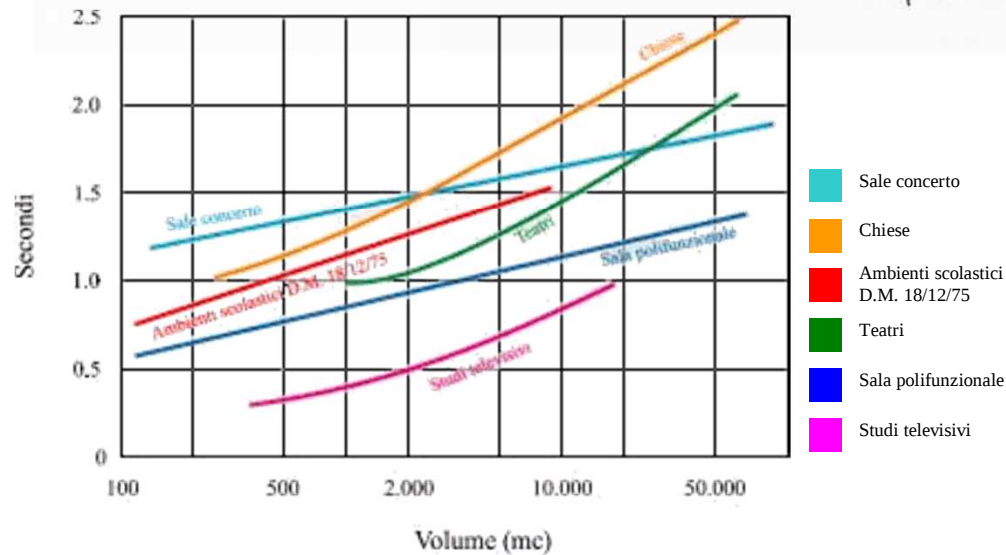
Ricordando che $\Gamma_m = 1 - \alpha_m$ e passando al logaritmo naturale:

$$\ln 10^{-6} = \ln (1 - \alpha_m) \cdot \tau_c \cdot \frac{S_c}{4V}$$

$$-13,82 = \tau_c \cdot \frac{S_c}{4V} \cdot \ln (1 - \alpha_m)$$

$$\Rightarrow \tau_c = - \frac{13,82 \cdot 4}{344} \cdot \frac{V}{S \cdot \ln(1 - \alpha_m)}$$

$$\Rightarrow \tau_c = - 0,16 \cdot \frac{V}{S \cdot \ln(1 - \alpha_m)}$$



$$\alpha_n = -0,16 \cdot \frac{V}{\sum_i S_i \cdot \ln(1-\alpha_i)}$$

Formula di Eyring
Sviluppo in serie di Taylor

Sviluppando in serie il logaritmo: $\ln(1-\alpha_i) \stackrel{\downarrow}{=} -\left(\alpha_i + \frac{\alpha_i^2}{2} + \frac{\alpha_i^3}{3} + \dots\right) \stackrel{\approx}{=} -\alpha_i$

quando α è piccolo

$$\Rightarrow \alpha_n = 0,16 \cdot \frac{V}{\sum_i \alpha_i S_i}$$

Formula di Sabine

Si può porre α_m = coeff. di assorbimento acustico apparente medio

$$\downarrow \frac{\sum_i \alpha_i S_i}{\sum_i S_i} \quad (\text{media pesata})$$

diviene affidabile se il volume ha dimensioni abbastanza simili e quando $\alpha_m < 0,2 \div 0,3$

$$\Rightarrow R = \text{costante d'ambiente}$$

$$= \frac{\alpha_m \cdot S}{1 - \alpha_m}$$

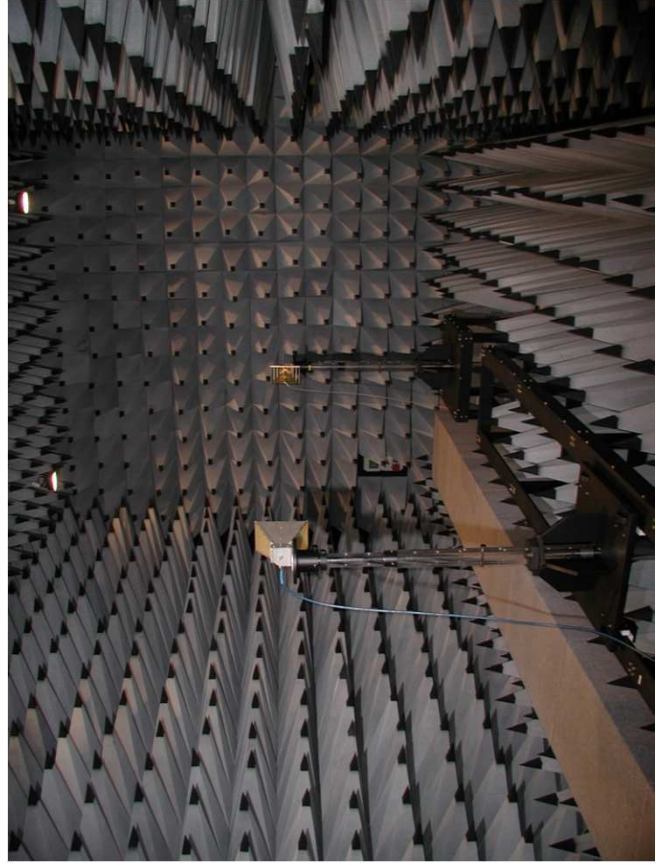
Wallace Clement Sabine
(1868 - 1919)

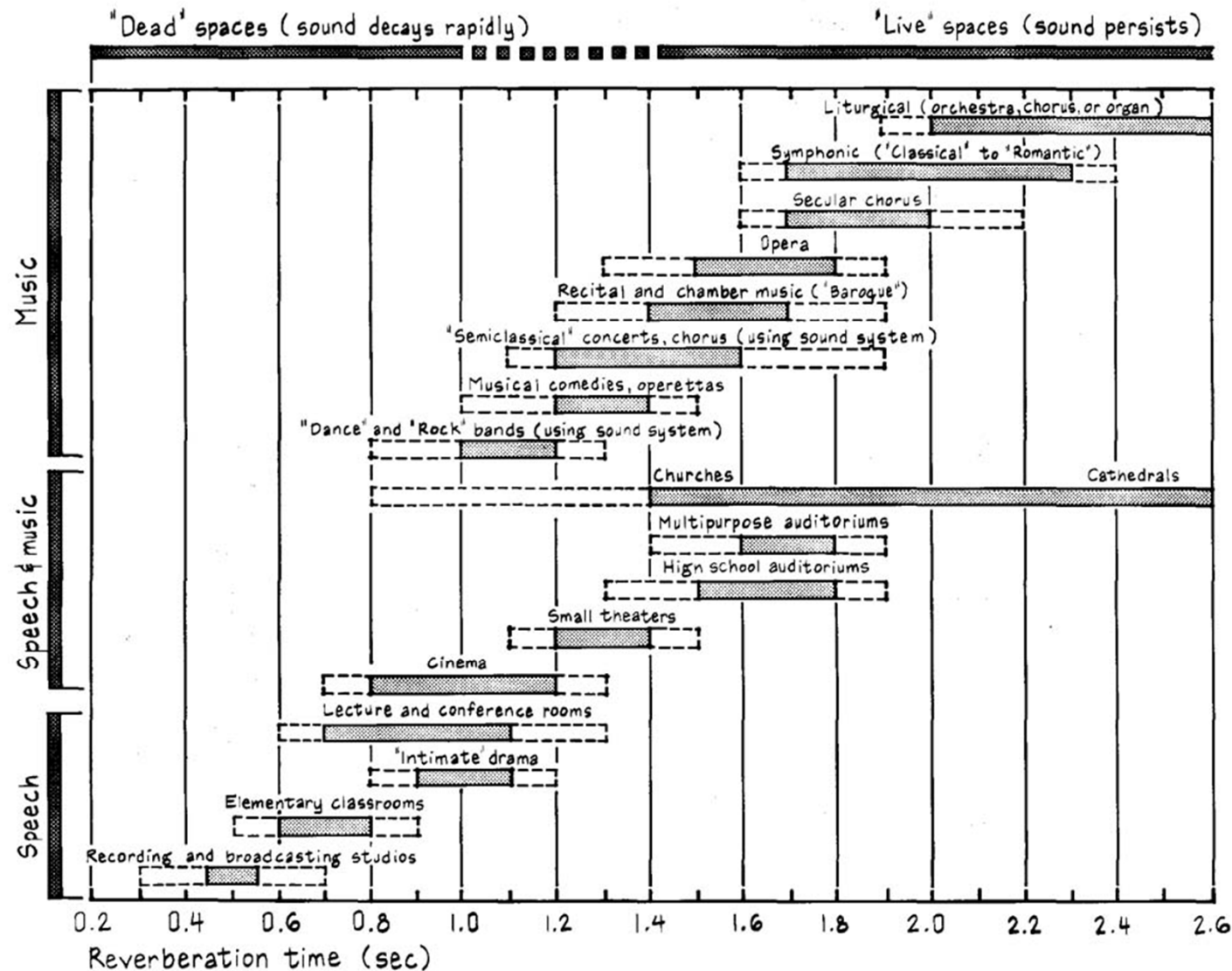


	Sabine	Millington	Eyring
Absorption coefficients	$\bar{\alpha} < 0.2$	$\bar{\alpha} \geq 0.2$ and $\alpha_{i,f}$ do not $\rightarrow 1$	$\bar{\alpha} \geq 0.2$
Equivalent area of the boundaries A_f^{Bound}	$\sum_i^{bound} (S_i \cdot \alpha_{i,f})$	$\sum_i^{bound} \left(S_i \cdot \ln \left(\frac{1}{1 - \alpha_{i,f}} \right) \right)$	$-S \cdot \ln \left\{ 1 - \sum_i^{bound} \frac{S_i \cdot \alpha_{i,f}}{S} \right\}$
where S_i area of surface i [m ²] $\alpha_{i,f}$ Sabine absorption coefficient of surface i at frequency f			

<http://www.esru.strath.ac.uk/Courseware/Acoustic/aco.htm>

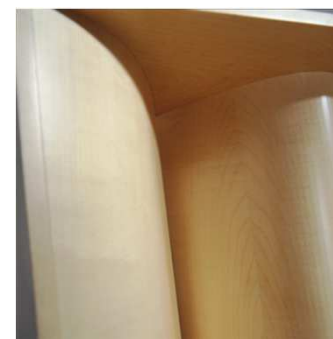
Caso senza materiale in prova : $\alpha^0 = 0,16 \cdot \frac{V}{\sum \alpha_i S_i} \Rightarrow \sum \alpha_i S_i = 0,16 \cdot \frac{V}{\alpha^0}$
 Caso con materiale in prova : $\alpha^1 = 0,16 \cdot \frac{V}{\sum \alpha_i S_i + \alpha S} \Rightarrow \frac{\sum \alpha_i S_i + \alpha S}{\sum \alpha_i S_i} = 0,16 \cdot \frac{V}{\alpha^1}$
 $\Rightarrow \alpha = 0,16 \frac{V}{S} \cdot \left(\frac{1}{\alpha^1} - \frac{1}{\alpha^0} \right)$





<http://www.measurement-testing.com/architectual-acoustics-2-SOUND-ABSORPTION-2.html>

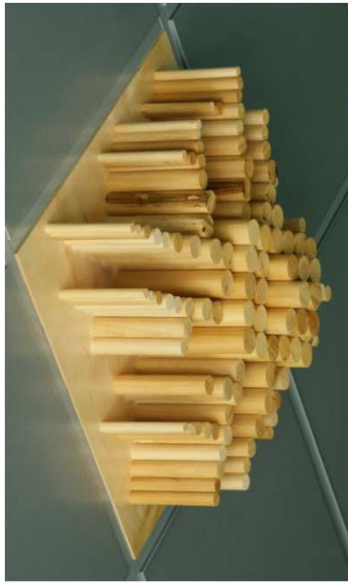
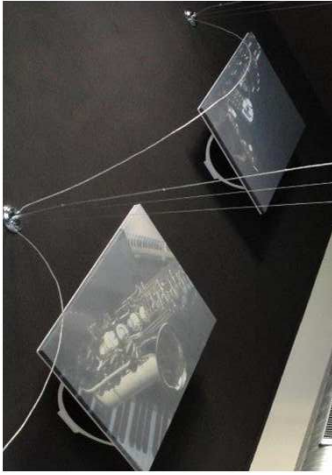
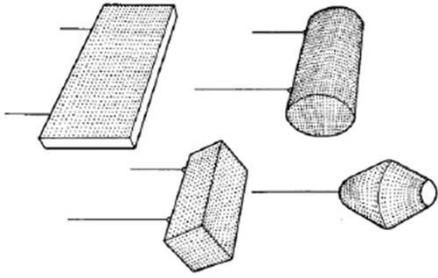
MATERIALE	Spessore mm (compreso eventuale intercapedine)	FREQUENZA					
		125	250	500	1000	2000	4000
a) Superfici interne correnti							
Intonaco normale	15	0,03	0,04	0,04	0,05	0,06	0,08
Muratura di mattoni		0,05	0,04	0,02	0,04	0,05	0,05
Calestruzzo		0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
Lastra di vetro di finestra	2	0,30	0,20	0,15	0,10	0,07	0,04
Lastra di vetro di infisso	4	0,35	0,25	0,20	0,10	0,05	0,05
Lastra di vetro di infisso	6	0,15	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02
Lastra di vetro aderente a parete		0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02
Marmo o piastrelle vetrificate		0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Bocchette di ventilazione		0,15	0,20	0,50	0,35	0,30	0,20
b) Rivestimenti di pareti e soffitti							
Soffitto sospeso in gesso liscio		0,25	0,20	0,10	0,07	0,05	0,10
Intonaco acustico (valori medi)	15	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35
Tende leggere appese a pieghe		0,05	0,06	0,10	0,18	0,30	0,40
Tende pesanti appese a pieghe		0,08	0,10	0,15	0,25	0,40	0,50
Pannelli di fibre di vetro o di roccia (media densità)	25	0,10	0,35	0,60	0,70	0,75	0,80
	50	0,20	0,45	0,65	0,75	0,80	0,80
	100	0,45	0,75	0,80	0,85	0,85	0,90
Schiuma di poliuretano espanso a cellule aperte	25	0,15	0,30	0,60	0,75	0,85	0,90
	50	0,25	0,50	0,85	0,95	0,90	0,90
	100	0,50	0,70	0,95	0,95	0,98	0,98
Lastra di legno di 6 mm, su listelli, con intercapedine d'aria di 75 mm e pannello in fibra di vetro di 25 mm	81	0,60	0,30	0,10	0,09	0,09	0,09
Lastra di legno di 12 mm su listelli, con intercapedine d'aria di 60 mm, e pannello in fibra di vetro di 60 mm	72	0,30	0,20	0,15	0,10	0,15	0,10
Masonite di 3 mm, con rivestimento in feltro di 50 mm	53	0,90	0,45	0,25	0,15	0,10	0,10
c) Pavimenti							
Battuto di cemento o marmette		0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Legno (parquet)	10	0,04	0,05	0,07	0,10	0,10	0,10
Gomma (piastrelle)	6	0,05	0,05	0,10	0,10	0,05	0,05
Moquette a pelo raso su feltro	6	0,05	0,05	0,10	0,20	0,45	0,65
Moquette a pelo medio su gomma piuma	10	0,05	0,10	0,30	0,50	0,65	0,70
Tappeti (valori medi)		0,10	0,13	0,20	0,30	0,25	0,25
Linoleum		0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04
d) Sedili e persone (valori in m² di unità di assorbimento per capo)							
Sedia in legno o parzialmente imbottita non occupata		0,03	0,05	0,05	0,10	0,15	0,10
Sedia in legno parzialmente imbottita occupata		0,15	0,25	0,40	0,40	0,45	0,40
Poltroncina imbottita non occupata		0,10	0,20	0,30	0,30	0,30	0,35
Poltroncina imbottita occupata		0,20	0,40	0,45	0,45	0,50	0,45
Persona seduta o in piedi		0,15	0,30	0,40	0,40	0,45	0,40



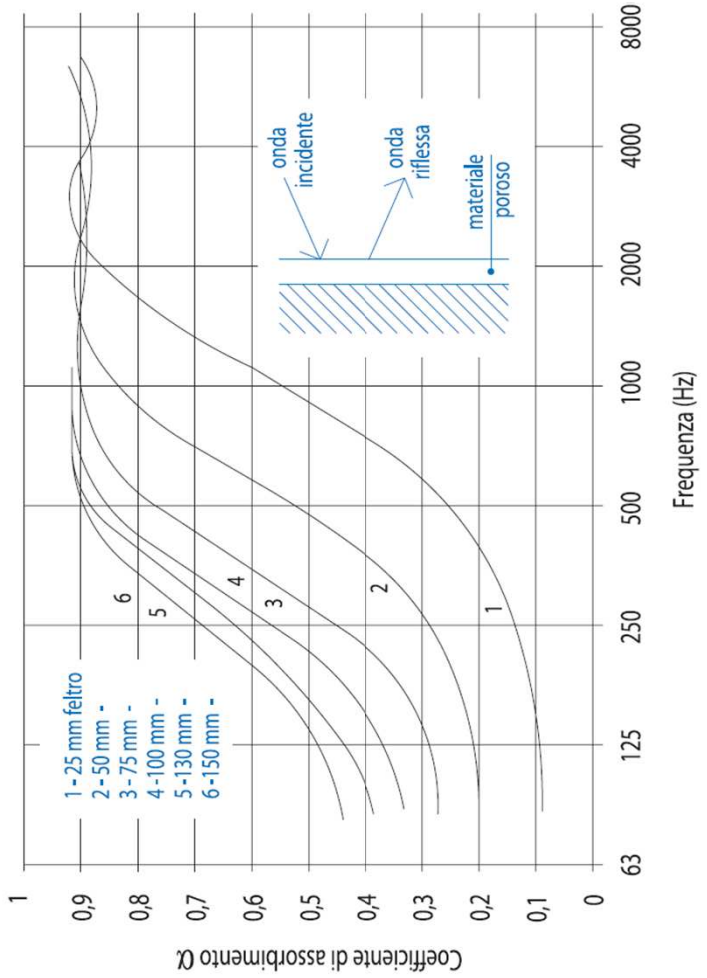
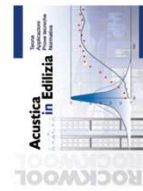
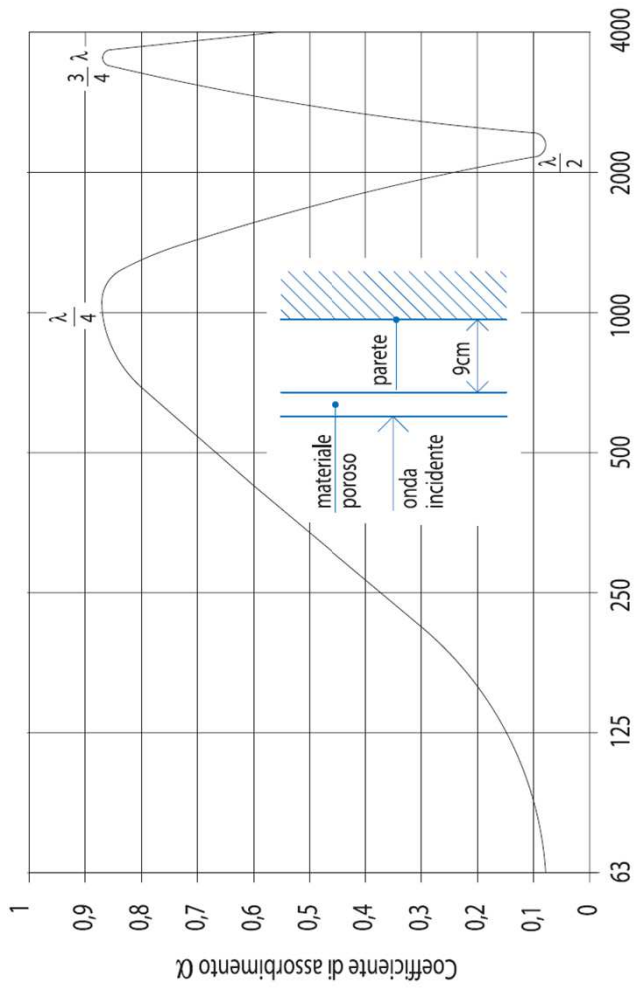
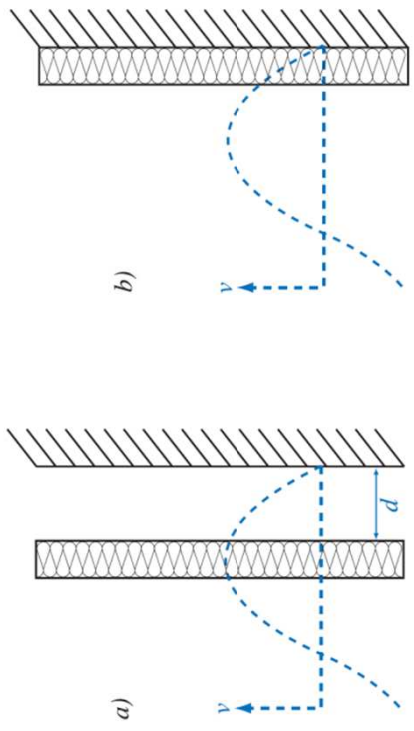
<http://www.acousticsdb.com/>

<http://www.armstrong.it/>

<http://www.rockwool.it/>



Elemento Costruttivo	125	250	500	1000	2000	4000
Muratura in mattoni grezza (a vista)	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,07
Muratura in calcestruzzo grezzo (a vista)	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
Parete intonacata	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03
Intonaco in cemento rustico	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04
Intonaco di gesso	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03
Lastra di vetro o specchio	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Marmo lucidato a parete o a pavimento	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Parquet incollato	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,10
Parquet su listelli di legno	0,20	0,15	0,10	0,10	0,09	0,07
Pavimento in ceramica	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03
Pavimento in linoleum	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04
Moquette su cemento	0,05	0,08	0,21	0,26	0,27	0,30
Pavimento in gomma	0,04	0,04	0,06	0,08	0,08	0,06
Vetro piano pesante in grandi pannelli	0,18	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02
Finiture chiuse	0,10	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02
Porta in legno tradizionale	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08	0,07
Bocchette di ventilazione e simili	0,15	0,20	0,30	0,35	0,30	0,20
Tendaggi in cotone a parete non drappeggiati 300 g/m²	0,03	0,05	0,10	0,15	0,25	0,30
Tendaggi in velluto sottile poco drappeggiato	0,08	0,30	0,50	0,50	0,60	0,60
Tendaggi in velluto pesante fortemente drappeggiati	0,50	0,50	0,70	0,90	0,90	0,90
Tappeto pesante	0,10	0,20	0,25	0,30	0,30	0,30
Soffitto sospeso in gesso liscio	0,25	0,20	0,10	0,05	0,05	0,10
Perlinato inchiodato	0,60	0,30	0,10	0,09	0,09	0,09
Materiali fonoassorbenti	125	250	500	1000	2000	4000
Intonaco acustico sp. 12 mm	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35
Pannelli in fibra di vetro (fibre 6 µm, 10 Kg/m³, 25 mm)	0,09	0,29	0,55	0,68	0,80	0,72
Pannelli in fibra di vetro (fibre 6 µm, 10 Kg/m³, 50 mm)	0,19	0,63	0,84	0,82	0,83	0,84
Pannelli in fibra di vetro (fibre 6 µm, 20 Kg/m³, 25 mm)	0,09	0,24	0,49	0,72	0,69	0,79
Pannelli in fibra di legno mineralizzate accostate alla parete	0,15	0,25	0,40	0,51	0,51	0,40
Sughero, 80 Kg/m³, pannello 20 mm, incollato alla parete	0,06	0,04	0,06	0,19	0,23	0,24
Sedili e persone in m² di unità di assorbimento per capo	125	250	500	1000	2000	4000
Sedia in legno o parzialmente imbottita libera	0,03	0,05	0,05	0,10	0,15	0,10
Sedia in legno o parzialmente imbottita occupata	0,15	0,25	0,40	0,40	0,45	0,40
Poltrona imbottita non occupata	0,10	0,20	0,30	0,30	0,30	0,35
Poltrona imbottita occupata	0,20	0,40	0,45	0,45	0,50	0,45
Persona adulta in piedi	0,23	0,32	0,42	0,42	0,46	0,46



Pannelli Vibranti

$$f_0 = \text{frequenza di risonanza}$$

$$= \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{6\sigma}{m \cdot d}}$$

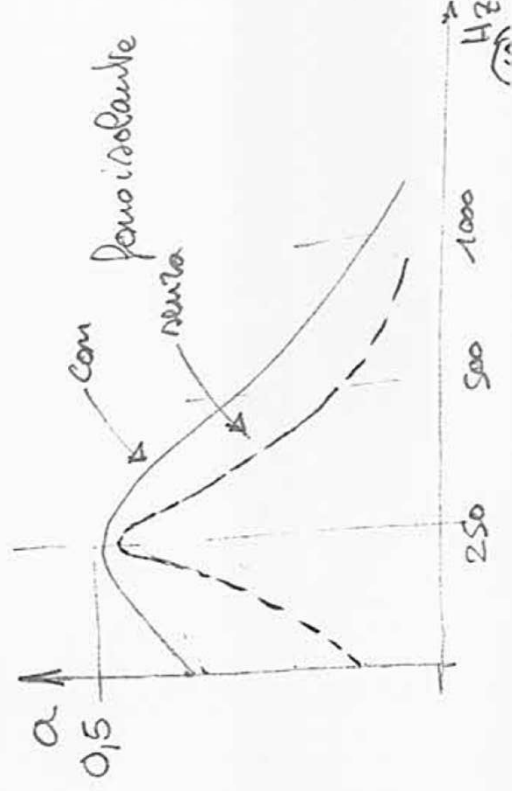
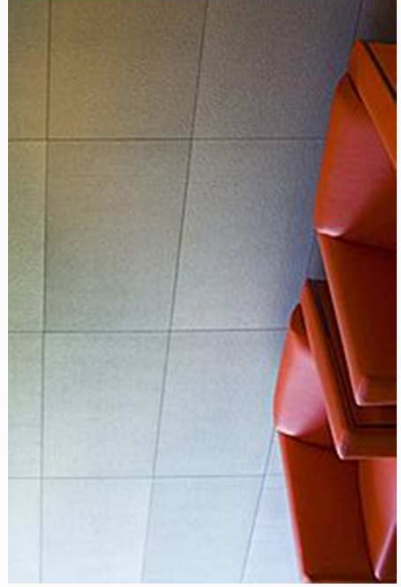
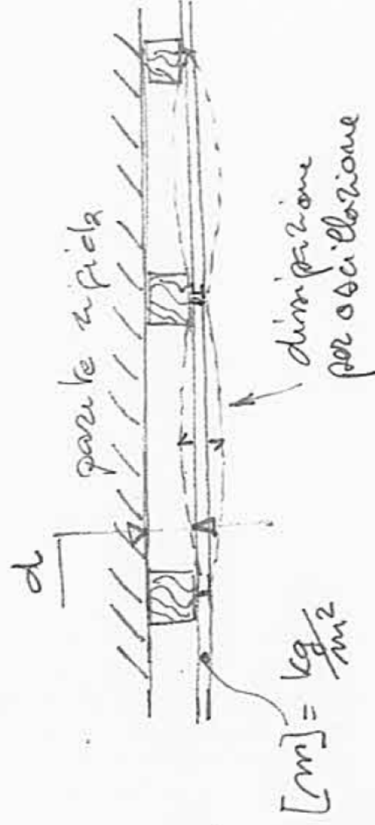
velocità suono $\rightarrow$ $\frac{6\sigma}{m \cdot d}$ $\rightarrow$ coeff. di Poisson del pannello $\rightarrow$ spessore camera d'aria

massa superficiale

Un'altra formula più semplice è :

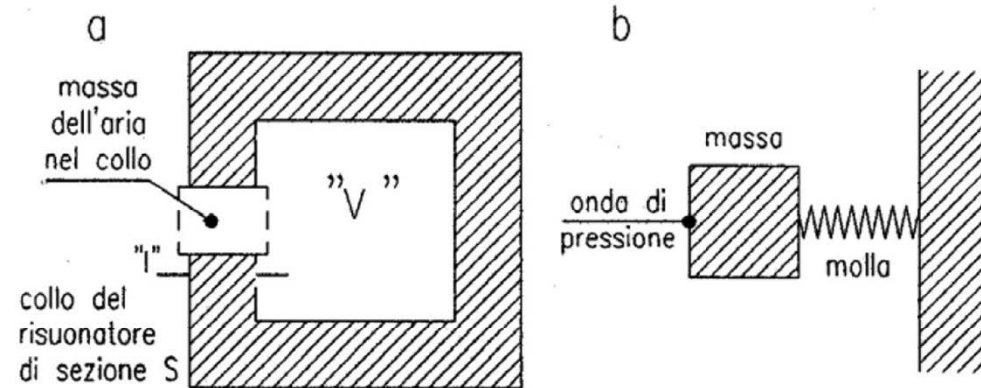
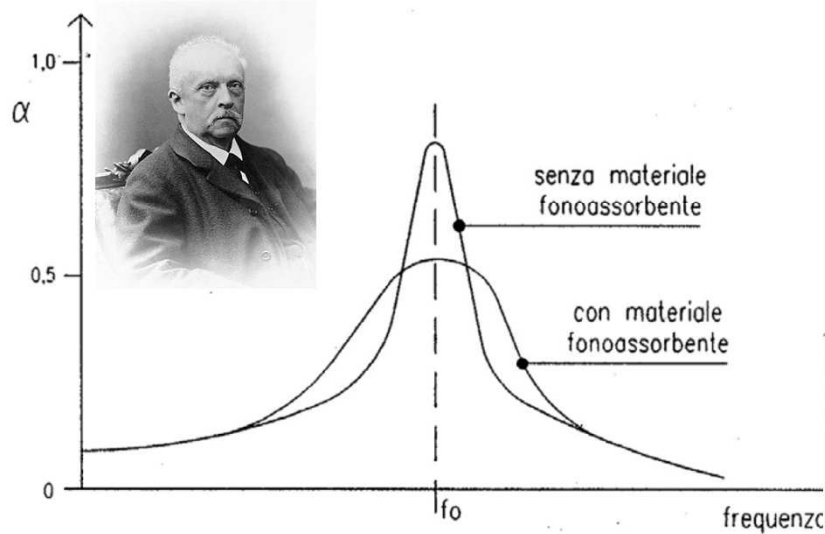
$$f_0 = \frac{60}{\sqrt{m \cdot d}}$$

Anche in questo caso si parla di elevata selettività che, per essere diminuita, necessita dell'inserimento di materiale fonoassorbente





Hermann von Helmholtz

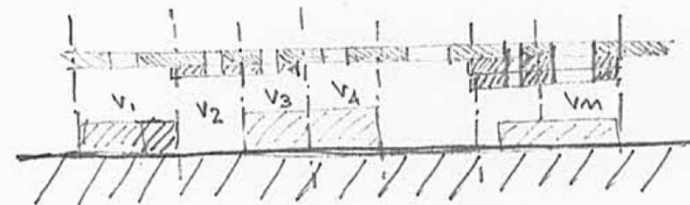


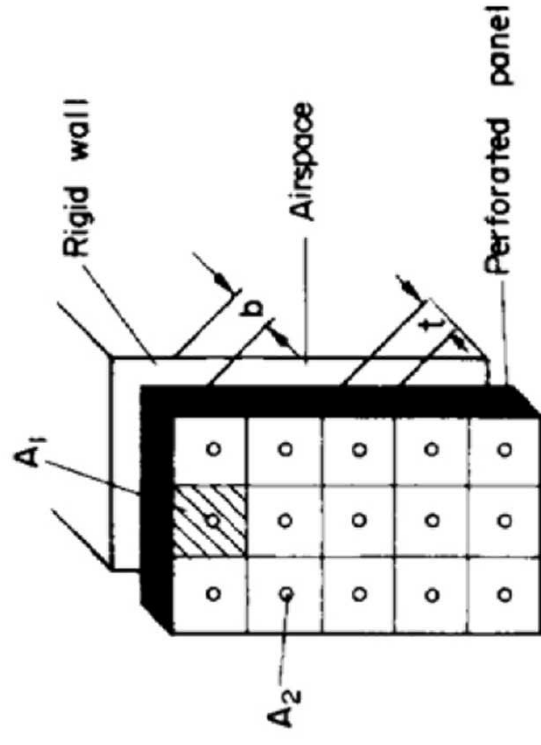
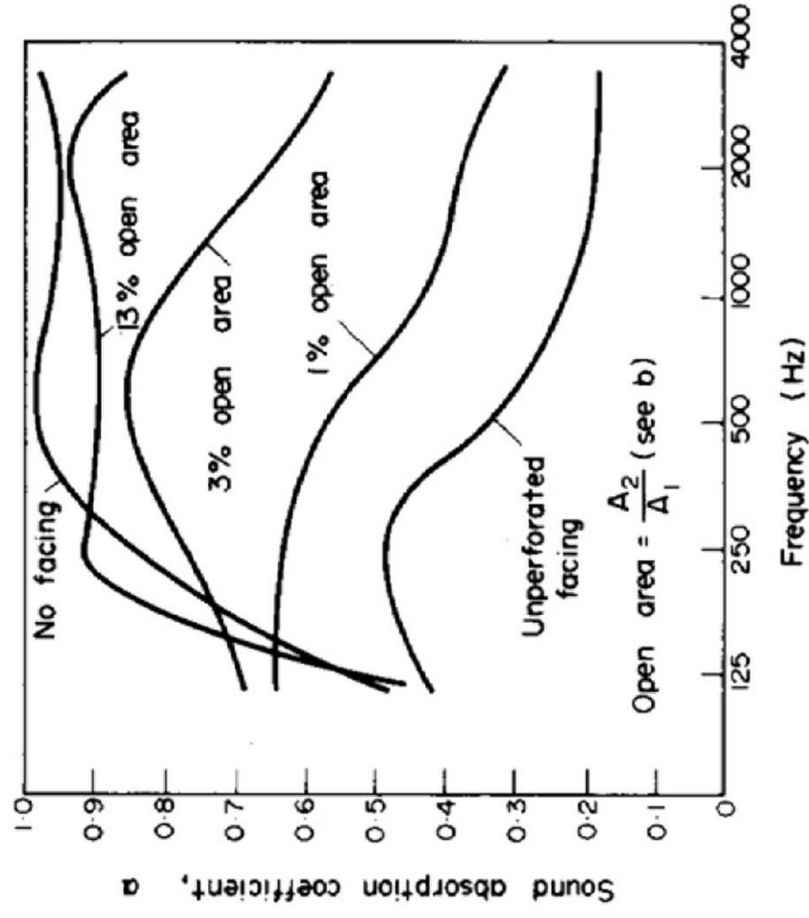
$$\frac{f}{f_0} = \text{frequenza di risonanza}$$

$$= \frac{c}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{S}{V \cdot L}}$$

È un sistema per aumentare l'assorbimento acustico in parete. Funziona in modo molto selettivo, allora si ripete in parte all'efficienza per aumentare la banda di lavoro, attraverso l'inserimento di materiale fono assorbente all'interno della cavità.

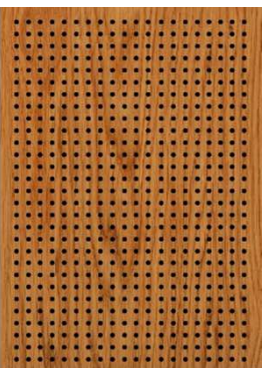
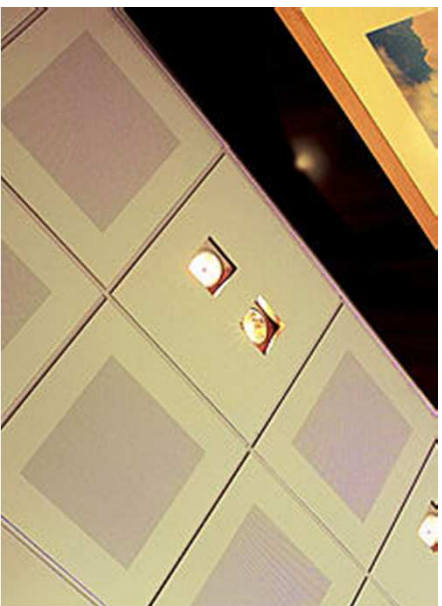
Distribuiscono più fori lungo una parete, ottengo un risuonatore multiplo





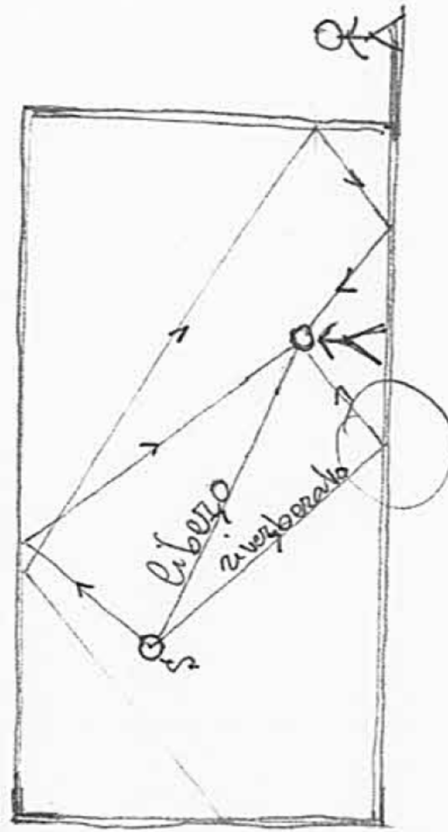
$$f_0 = \frac{c_0}{2\pi} \sqrt{\frac{A_2}{A_1} \cdot \frac{1}{(t + 2\Lambda t) \cdot b}}$$

dove: V è il volume d'aria contenuto nell'intercapedine, t lo spessore del pannello, e $2\Lambda t$ è un fattore di correzione pari a $\pi r/2$ per una foratura di raggio r . Il significato degli altri simboli è indicato in figura.



$$R = \text{costante d'ambiente}$$

$$= \frac{\alpha_m \cdot S}{1 - \alpha_m}$$



Si dimostra che:

$$L_p = L_w + 10 \lg \left(\frac{1}{R} + \frac{Q}{4\pi r^2} \right)$$

costante d'ambiente

$$\frac{\alpha_m \cdot S}{1 - \alpha_m}$$

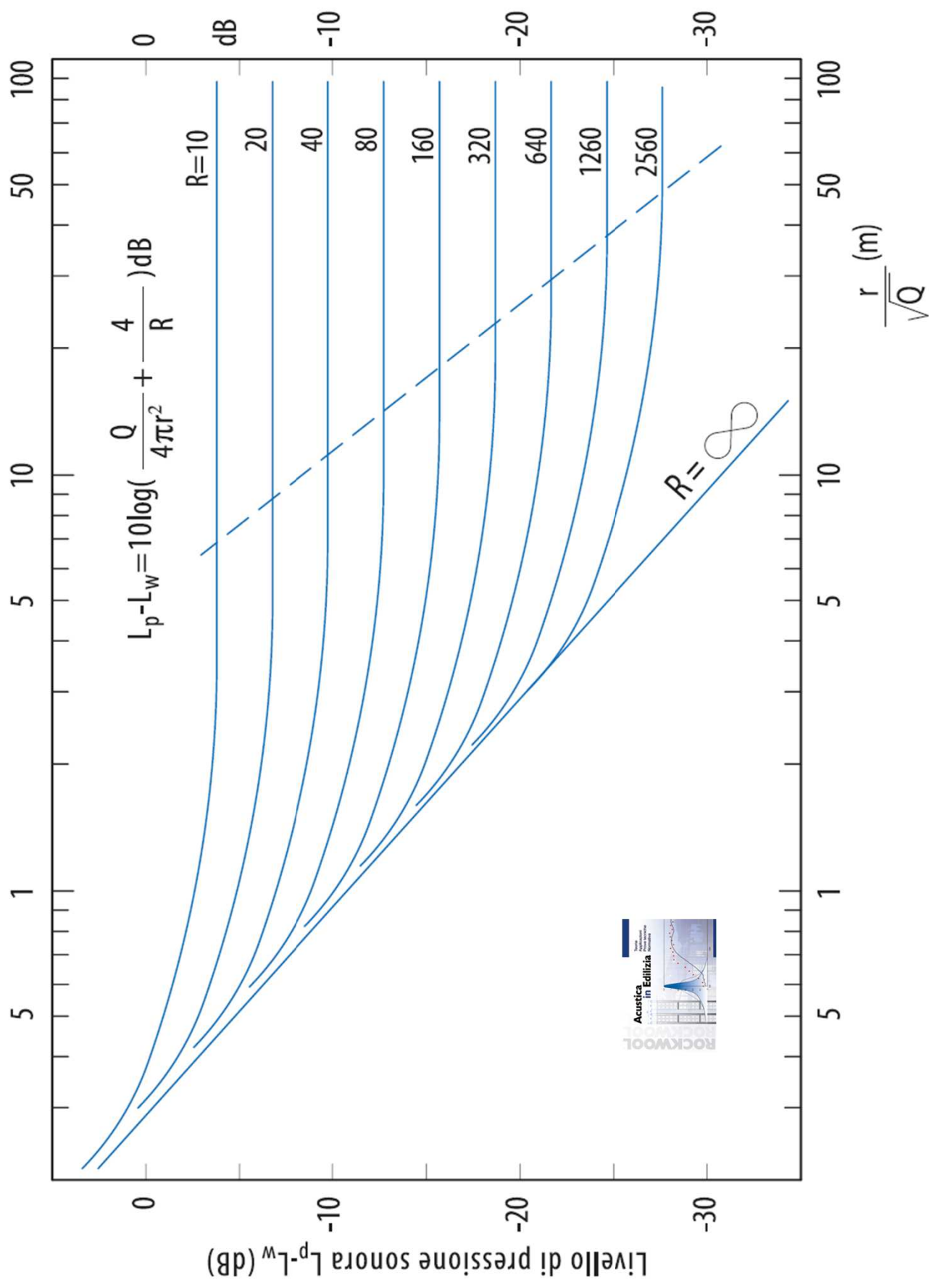
incide sul campo
diffuso (suono riverberato)

$$I = \frac{W}{4\pi r^2}$$

intensità per capita

intensità sopra
di campo aperto

incide sul campo
libero (suono diretto)



La condizione per cui le due componenti hanno la medesima intensità è

$$\frac{A}{R} = \frac{Q}{4\pi r_c^2} \quad \Delta \Delta \quad r_c = \sqrt{\frac{Q \cdot R}{16 \cdot \pi}}$$

= raggio critico

Quando nell'ambiente mi trovo a $d \ll r_c$:

- + il suono è detto secco (campo libero)
- + il livello sonoro diminuisce ad ogni raddoppio della distanza di 6 dB
- + il suono riverberato arriva dopo con intensità inferiore (eco)

Quando nell'ambiente mi trovo a $d \gg r_c$:

- + il livello sonoro varia poco con la distanza
- + il suono riverberato è più forte di quello diretto (eco sonora)

Se in un ambiente modifichiamo la superficie, modifichiamo la sua costante d'ambiente R .

$$L_p^1 = L_w + 10 \lg \left(\frac{A}{R_1} + \frac{Q}{4\pi r_1^2} \right)$$

$$L_p^2 = L_w + 10 \lg \left(\frac{A}{R_2} + \frac{Q}{4\pi r_2^2} \right)$$

$$\frac{L_p^1 - L_p^2}{L_p^1 - L_p^2} = 10 \lg \left(\frac{\frac{A}{R_1} + \frac{Q}{4\pi r_1^2}}{\frac{A}{R_2} + \frac{Q}{4\pi r_2^2}} \right)$$

dove

$$R_J = \frac{\alpha_m^J S}{1 - \alpha_m^J}$$

et

$$\alpha_m^J = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i^J S_i}{\sum_{i=1}^n S_i}$$

Se nel passare dalla condizione "1" alla "2", aumento mediamente gli α_i^J , aumento $\alpha_m^J \Rightarrow$ aumento $R_J \Rightarrow$ diminuisce L_p^J

