

Caratteristiche di un suono puro

$$O M = x(t) = A \cos(\omega t)$$

$$v_M(t) = \frac{dx}{dt} = -A \omega \sin(\omega t)$$

$$a_M(t) = \frac{dv}{dt} = -A \omega^2 \cos(\omega t)$$

Periodo:

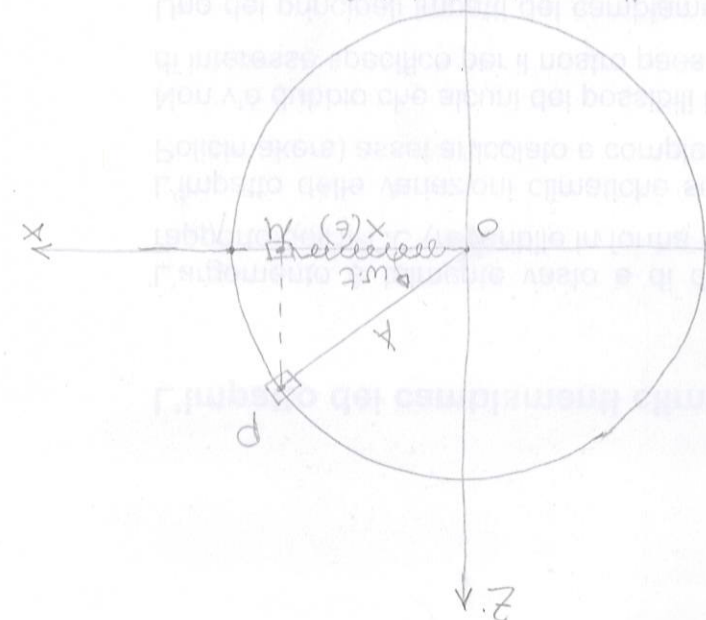
$$\text{con } \omega = \frac{2\pi}{T} \text{ con } T = \text{periodo}$$

ω velocità angolare

T tempo per tornare alla posizione iniziale

con $f = \text{frequenza} = \text{numero di oscillazioni/periodo}$ compiuti nell'unità di tempo

$$\boxed{\omega = 2\pi \cdot f}$$



Il lavoro energetico della molla M è esprimibile come somma di quella potenziale e di quella cinetica. Nel caso della molla, al passaggio per il punto O , l'energia potenziale è nulla, mentre quella cinetica è massima.

$$E = \text{energia del punto } M = \frac{1}{2} m v_{\max}^2$$

$$= \frac{1}{2} m (A \omega \sin(\omega t))^2$$

$$= \frac{1}{2} m A^2 \omega^2 \sin^2(\omega t)$$

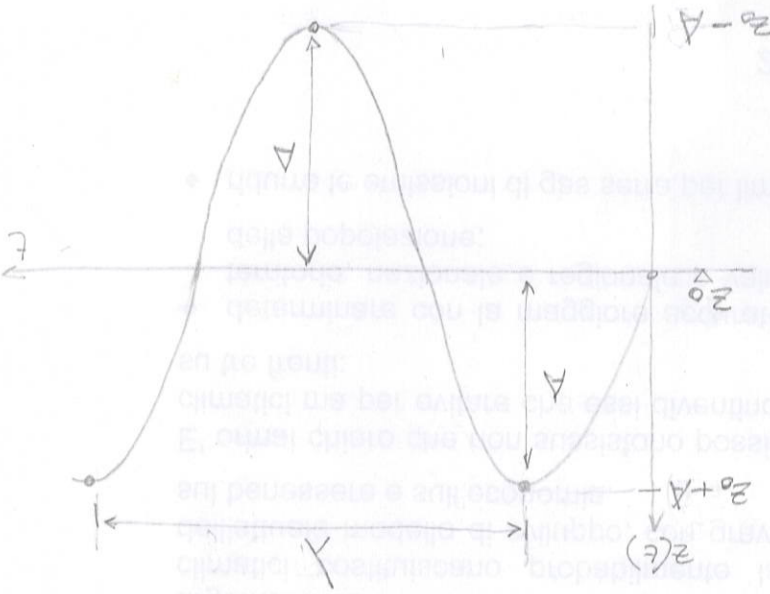
$$= \frac{1}{2} m A^2 \omega^2 \cdot \frac{1}{2} (1 - \cos(2\omega t))$$

$$= \frac{1}{4} m A^2 \omega^2 (1 - \cos(2\omega t))$$

$$\Rightarrow \omega t = M \cdot \frac{\pi}{2} \text{ con } M = 1, 2, 3, \dots$$

In un gas, il fenomeno acustico si espone per oscillazioni della molecola attorno ad una posizione di equilibrio. L'oscillazione è armonica, che in compressioni e rarefazioni, che in trasmissioni e rarefazioni, che in oscillazione, in virtù della pressione ambientale.

Se invece di una oscillazione armonica si ha un'oscillazione di M non sarebbe una armonica.



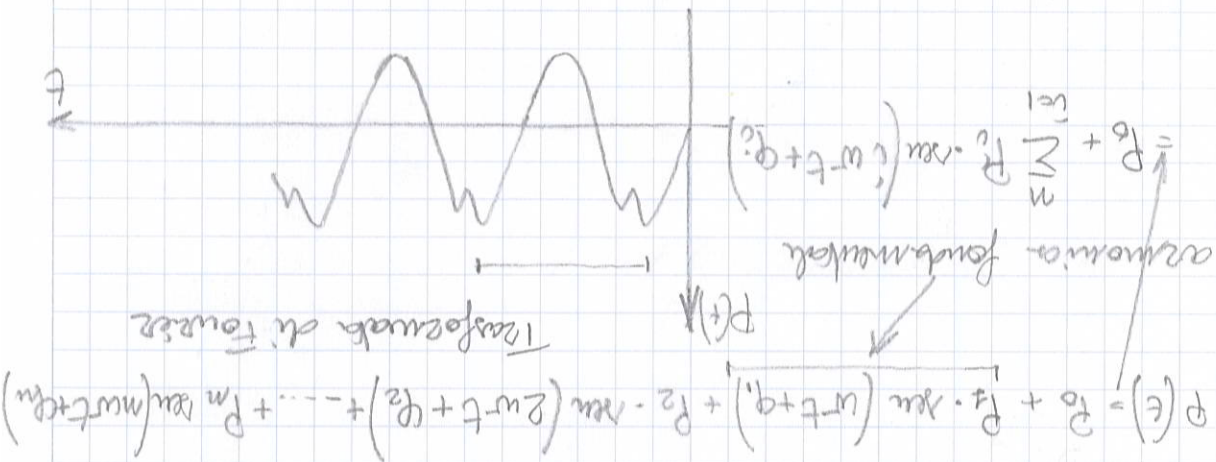


MISERICORDIA
STIA

P. IVA 01065950519
C.F. 80000810517

Un suono PUDO è un suono definito da una singola armonica, ovvero da una legge sinusoidale di unica frequenza.

Un suono COMPLESSO è un suono polidiviso in armoniche, ma ciascuna componibile in sua volta in armonica (suoni PURI), la cui presenza sono multipli interi della frequenza del suono complesso:



CORDE VIBRANTI

$F = ma$ forza di nuovo la corda

$\rho = \frac{m}{\Delta x} = \frac{m}{\Delta x}$

$a = \frac{\partial^2 z}{\partial t^2}$ (per definizione)

$F = z \cdot (\text{sen } \alpha_2 - \text{sen } \alpha_1)$

Nelle ipotesi di piccoli spostamenti, gli angoli sono piccoli e quindi in generale:

$\text{sen } \alpha \approx \text{tg } \alpha = \frac{\partial z}{\partial x}$

$\Rightarrow z \cdot \left(\frac{\partial z}{\partial x} - \frac{\partial z}{\partial x} \right) = \rho \Delta x \cdot \frac{\partial^2 z}{\partial t^2}$

per $\Delta x \rightarrow 0$, $\lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\frac{\partial z}{\partial x} - \frac{\partial z}{\partial x}}{\Delta x} = \frac{\partial^2 z}{\partial x^2}$

quindi $z \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} = \rho \frac{\partial^2 z}{\partial t^2}$

si pone $c = \sqrt{\frac{z}{\rho}}$ = velocità di propagazione dell'onda

$\Rightarrow \left[\frac{\partial^2 z}{\partial x^2} = \frac{1}{c^2} \cdot \frac{\partial^2 z}{\partial t^2} \right]$ Equazione delle corde vibranti

Per un gas: $c^2 = \frac{\partial p}{\partial \rho} / \frac{\partial \rho}{\partial p} = \frac{\partial p}{\partial \rho} / \frac{\partial \rho}{\partial p}$ ipotesi di adiabatica $\rightarrow p v^\gamma = \text{cost} = p/\rho$ differenziando $\frac{p}{\rho} - \gamma \frac{p}{\rho} = 0$

$\Rightarrow c^2 = \gamma \frac{p}{\rho} = \gamma p v$

$\Rightarrow c = \sqrt{\gamma R T}$

Per l'aria: $\gamma = \frac{c_p}{c_v} \approx \frac{7}{5} R = 1.4$

$R = \frac{R_0}{M} = \frac{8.314 \frac{kJ}{kmol \cdot K}}{28.8 \frac{kg}{kmol}} \approx 0.2887 \frac{kJ}{kg \cdot K}$

$\Rightarrow c \approx 344 \text{ m/s}$

$T = 293 \text{ K}$

C = velocità di propagazione in un mezzo elastico

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

per solidi $C = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$

per gas $C = \sqrt{k \frac{P}{\rho}}$

per liquidi $C = \sqrt{\frac{K}{\rho}}$

P = pressione del gas [Pa]

ρ = densità del mezzo [kg/m^3]

E , modulo di Young [Pa]

K = costante di bulk

R_i = costante del gas = $\frac{R}{M}$

η = temperatura del gas [K]

P = coeff. comprimibilità [Pa]

Le condizioni standard per l'aria:

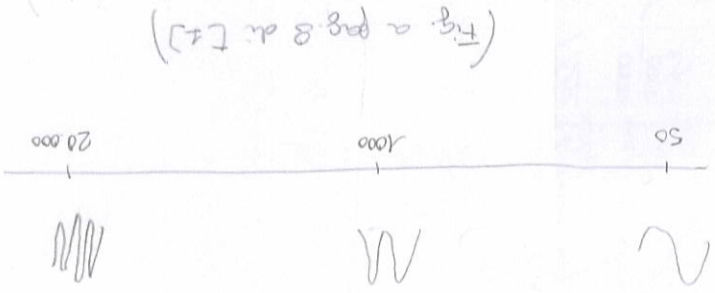
$$C_{aria} = \sqrt{K_{aria} \cdot \eta} = \sqrt{1.4 \cdot 287 \cdot 293} = 343 \text{ m/s}$$

Con una espressione più immediata, posto $P = P_0$ = pressione atmosferica:

$$C_{aria} = 331.6 + 0.61 \cdot t \quad \text{con } -10^\circ \leq t \leq 40^\circ \text{C}$$

Finalmente le condizioni di risonanza (pressione, temperatura), la velocità e quindi costante, così come il prodotto $\lambda \cdot f$.

f	λ	$\lambda \cdot f$
20.000	0,02	0,02
5000	0,07	0,07
1000	0,3	0,3
250	1,3	1,3
50 Hz	6,9 m	6,9 m



EFFETTO DOPPLER (1845)

Una sorgente si muove a velocità V_s

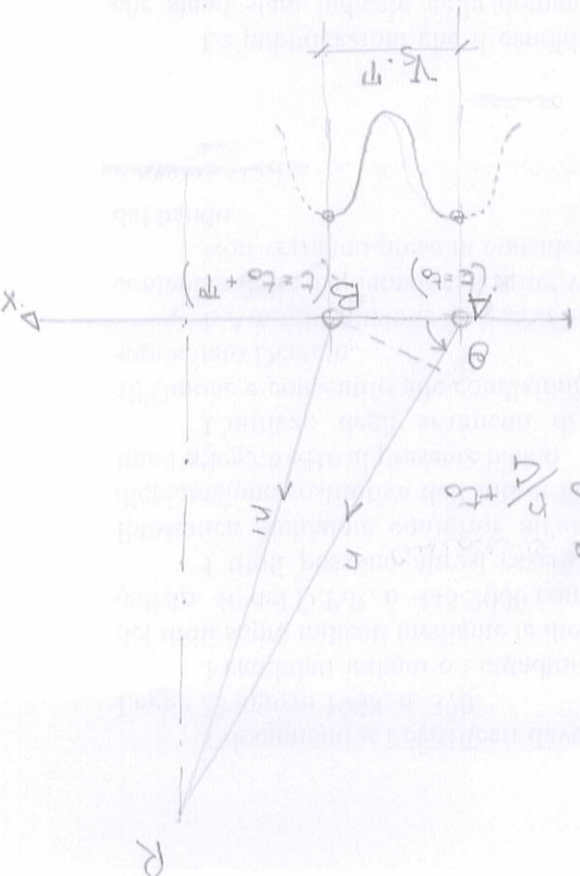
lungo la direzione x .

- All'istante $t = t_0$ è in A, le fronte d'onda emesse in A si propagano e ricevute R dopo $\frac{R}{c} + t_0$

- All'istante $t = t_0 + \tau$, la sorgente è in B.

le fronte d'onda emesse in B raggiungono R al tempo $\frac{R}{c} + \tau + t_0$

- Per ricevere, i due fronti d'onda arrivano a distanza del periodo τ_M percepito



$$\tau_M = t_B - t_A = \left(\frac{R}{c} + \tau + t_0 \right) - \left(\frac{R}{c} + t_0 \right) = \tau \left(1 + \frac{V_s}{c} \right)$$

$$f_M = \frac{1}{\tau_M} = \frac{1}{\tau \left(1 + \frac{V_s}{c} \right)} = \frac{f}{1 + \frac{V_s}{c}}$$

$$f_M = \frac{1}{\tau_M} = \frac{1}{\tau \left(1 - \frac{V_s}{c} \cos \theta \right)}$$

$$f_M = \frac{1}{\tau_M} = \frac{1}{\tau \left(1 - \frac{V_s}{c} \cos \theta \right)}$$

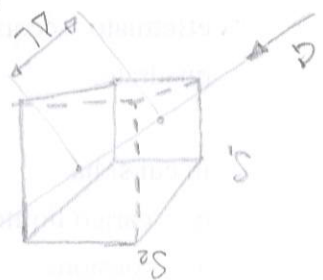
Se $0 < \theta < \frac{\pi}{2} \Rightarrow f_M > f \Rightarrow$ tono più alto

$\frac{\pi}{2} < \theta < \pi \Rightarrow f_M < f \Rightarrow$ tono più cupo

Intensità sonora e potenza acustica

Per definizione, l'intensità $I(t)$ è l'energia che attraversa un'unità di tempo incidente su di una superficie unitaria, ovvero la polarizzazione incidente sulla superficie unitaria.

direzione di propagazione



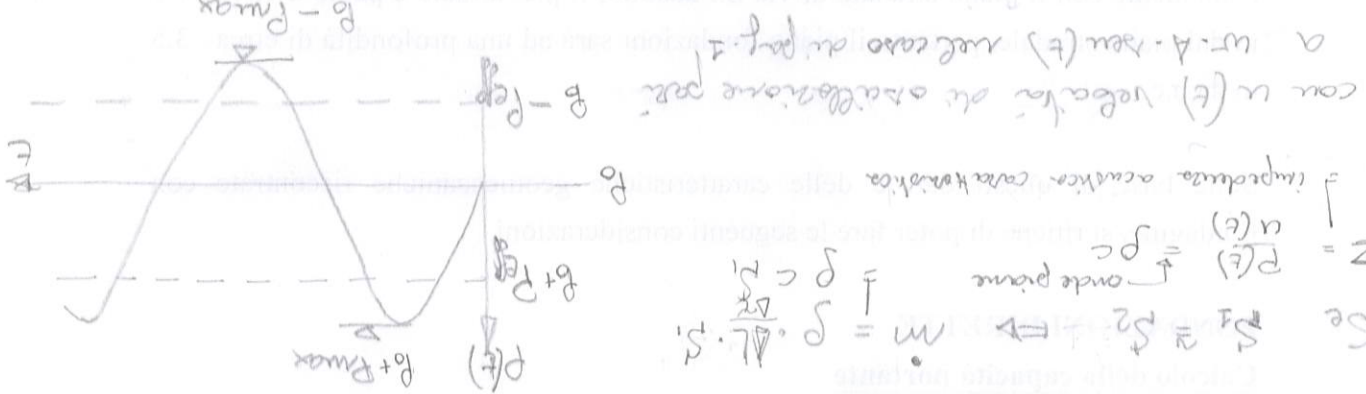
$$[C] = m/s$$

$$\Delta L = C \cdot \Delta t$$

$$S_1 \approx S_2 \Rightarrow m = \int_{S_1} \frac{\partial \rho}{\partial t} \cdot \vec{v} \cdot d\vec{S}$$

$$Z = \frac{P(t)}{u(t)} = \int_{S_1} \rho \cdot \vec{v} \cdot d\vec{S}$$

impedenza acustica caratteristica



Si definisce Efficienza il valore quadratico medio della pressione:

$$P_{eff}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T p^2(t) dt$$

$$= \frac{1}{T} \cdot \int_0^T \rho^2 c^2 u^2 \sin^2(\omega t) dt$$

$$= \frac{1}{T} \cdot \rho^2 c^2 u^2 \cdot \left(\frac{T}{2} - \frac{\sin 2\omega T}{4\omega} \right)$$

$$\text{quando } \omega T = \frac{2\pi}{T} \Rightarrow$$

$$P_{eff}^2 = \frac{1}{2} \rho^2 c^2 u^2$$

Poiché abbiamo nel caso di onde sinusoidali la relazione:

$$P_{eff}^2 = \frac{P_{max}^2}{2} \quad (\text{vedi in 3bis})$$

3 quadrati

$Z_c =$ impedenza caratteristica del mezzo

$$\begin{aligned} &= \frac{P(t)}{u(t)} \\ &= \frac{P_c}{u(t)} \end{aligned}$$

$= P_c$ per onde piane

$\Rightarrow$

$$P = P_c u$$

da dimostrare

$$E = \frac{1}{2} m u_{max}^2 \quad \left(= \frac{1}{2} m A^2 \omega^2 \right)$$

$$\dot{E} = \frac{dE}{dt} = \frac{1}{2} m \dot{u}_{max}^2 \quad \text{dove}$$

$$u_{max}^2 = \frac{P_{max}}{\rho c^2}$$

$$\dot{m} = \frac{dm}{dt} = \rho \cdot \frac{V}{dt} = \rho \cdot S \cdot \frac{dx}{dt} = \rho c S$$

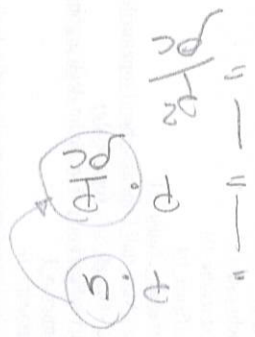
$$\begin{aligned} &= \frac{1}{2} \rho c S \cdot \frac{P_{max}^2}{\rho^2 c^2} \\ &= \frac{1}{2} \frac{P_{eff}^2}{\rho c} \cdot S \end{aligned}$$

L'irradianza sonora è una potenza sonora per unità di superficie

$$I = \frac{S}{W} = \frac{F}{S} = \frac{P_c}{Z} = \frac{P_{eff}^2}{Z}$$

oppure:

$$I = \frac{S}{W} = \frac{F \cdot u}{S}$$



$$P = P_c u$$

$$P = P_{eff}$$

Ricordando che:

$$E = \frac{1}{2} m \omega^2 A^2 = \frac{1}{2} m \omega_{max}^2$$

e che $m = \rho c \delta \left(= \frac{dm}{dt} \right)$

$$\Rightarrow E = \frac{1}{2} \rho c \delta \omega^2 A^2 = \frac{\rho^2 \omega_{eff}^2}{2 \rho c \delta} = \frac{\rho^2}{2 \rho c \delta} = \frac{\rho^2}{2 \rho c}$$

Per definizione:

$$W = I \cdot S = E \cdot \frac{\rho c \delta}{\rho^2}$$

Il prodotto $\rho \cdot c$ è una caratteristica del mezzo e del suo stato fisico; questo è detto IMPEDENZIA AUSTICA ed è misurato in $[kg \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}] = \frac{kg}{m^2 \cdot s}$ o $\frac{N}{m^2 \cdot s}$

L'impedenza acustica dell'aria in condizioni standard è pari a circa 415 $kg \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$. ($\rightarrow \rho c = \frac{F}{v} \cdot \frac{1}{v} \rightarrow \rho \left[\frac{kg}{m^3} \right] \cdot v \left[\frac{m}{s} \right]$)

N.B. Poiché si parla sempre di pressione efficace, il simbolo P_{eff} è sempre confuso con P .

La "sensibilità" dell'orecchio umano è mediamente la seguente:

$$f = 50 \div 16000 \text{ Hz}$$

$$\lambda = 0,02 \div 5 \text{ m}$$

$$P = 2 \times 10^{-5} \text{ Pa}$$

Scala di intensità: per un suono a 1000 Hz

Intensità: tabella pag. 13 di [1]

Beel = logaritmo 10 del rapporto tra potenze sonore

$\log \frac{W}{W_0}$ dove $W_0 = 10^{-12} \text{ Watt}$ limite alla soglia uditiva per un suono a 1000 Hz

decibel = dB = 10 · Beel

Questo non però è potenza in grado sono molto piccole

$10 \cdot \log \frac{W}{W_0}$

le dB serve a esprimere il livello sonoro: $L_w = 10 \log \frac{W}{W_0}$

1) Se esprimiamo il livello sonoro con l'intensità ($W = I \cdot S$)

$L_w = 10 \log \frac{I \cdot S}{I_0 \cdot S_0} = 10 \log \frac{I}{I_0} + 10 \log \frac{S}{S_0}$

Se la superficie è uguale Δm^2 il livello di intensità sonora $L_I = 10 \log \frac{I}{I_0} + 10 \log \frac{S}{S_0}$

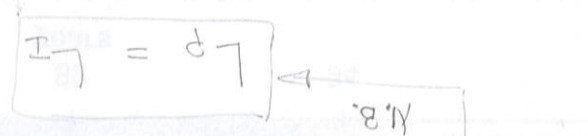
2) Se esprimiamo il livello sonoro con la potenza di potenza $(I = P^2 / \rho c)$

$L_w = 10 \log \frac{P^2 / \rho c}{P_0^2 / \rho c} + 10 \log \frac{S}{S_0}$

$= 20 \log \frac{P}{P_0} + 10 \log \frac{S}{S_0}$

$= L_p + 10 \log \frac{S}{S_0}$

il livello di pressione sonora



le decibel è unicamente il logaritmo in base 10 del rapporto di due grandezze, cui si attribuisce il nome di LIVELLO, ma che non rappresenta una misura di misura vera. La sua definizione origina dall'ampiezza del campo sonoro e uditivo in termini di pressione, intensità e potenza, e quindi dall'energia meccanica di trasmettere onde "geometriche".

La pressione sonora di riferimento coincide la soglia di udibilità di un suono puro a 1 kHz e vale 2×10^{-5} Pa (cioè 20 μ Pa)

In condizioni normali (1 atm, 20°C), per l'aria: $\rho = 1,205 \text{ kg/m}^3$

$$c \approx 344 \text{ m/s}$$

$$I = \frac{p_{\text{eff}}^2}{\rho \cdot c} = \frac{(2 \times 10^{-5})^2}{1,205 \times 344} \approx 10^{-12} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$W = I \cdot S_{\text{eff}} = 10^{-12} \text{ W}$$

L'orecchio è un po' più attento nel sentire i suoni a frequenze intermedie

$$p_{\text{eff}} = p_{\text{p}} \text{ con } v = 1/p$$

$$\Rightarrow p = \frac{p_{\text{eff}}}{v} = \frac{p_{\text{eff}}}{\frac{1}{\rho \cdot c}} = \rho \cdot c \cdot p_{\text{eff}}$$

θ	p	c	Impedenza
0°	1,293	332	430
10°	1,247	338	422
20°	1,205	344	415
30°	1,165	350	408

$I = \frac{E}{S} = \frac{p^2}{\rho \cdot c}$
 Se E/S è costante, all'incirca all'impedenza acustica, effetto sonoro.

L_p [dB]	20	40	60	80	100	130	140
Orologio da polso							
Biblioteca							
Auto a 10 m							
Radio a forte volume							
Marzello pneumatico							
Aereo in partenza							
Sagitta del dolore							

$$\left[\begin{array}{l} L_p = 10 \lg \frac{p^2}{p_{\text{ref}}^2} \\ L_I = 10 \lg \frac{I}{I_{\text{ref}}} \\ I = \frac{p^2}{\rho \cdot c} \end{array} \right]$$

$$\Leftrightarrow L_p = L_I \Leftrightarrow p \approx p_{\text{ref}}$$

Nota: Se $p_{\text{co}} = 430$ e $p_c = 408 \Rightarrow L_I = L_p + 0,22$

È per questo che si sente sempre al livello di pressione, senza distinguere dal livello di intensità.

Dare due sorgenti sonore S_1 e S_2 ,
 il livello sonoro al ricevente R è dato
 dalla somma delle intensità:



$$L_R = 10 \lg \frac{I_R}{I_0}$$

dove $I_R = I_1 + I_2$ (somma delle intensità al ricevente)

Però $I_2 = k \cdot I_1$, allora $I_R = I_1(1+k)$ e quindi:

$$L_R = 10 \lg \frac{I_0}{I_1 \cdot (1+k)}$$

$$= 10 \lg \frac{I_0}{I_1} + 10 \lg (1+k)$$

$$= L_1 + 10 \lg (1+k)$$

Se ad esempio $I_1 = I_2$, ne segue che $k=1$ e quindi che

$$L_R = L_1 + 3 \text{ dB}$$

Se la distanza delle due sorgenti dal ricevente sono uguali,

ne segue che $I_1 = S_1 = W_1 = W_2 = I_2 = 5$; in questo

caso il raddoppio della sorgente determina un aumento

del livello di intensità o di potenza sonora pari a 3 dB.

Più in generale:

$$L_R = L_1 + 10 \lg \left(1 + \sum_{i=1}^n k_i \right)$$

dove $k_i = \frac{I_i}{I_1}$

In acustica ambientale e edilizia è generalmente accettabile la

posizione $S_{Co} = 5$ c, ovvero de la impedenza acustica e una invariabile
 nella soluzione del problema, allora:

$$L_I = 10 \lg \frac{I_0}{I_1} = 10 \lg \left(\frac{p^2}{p_0^2} \cdot \frac{S_{Co}}{S_2} \right) = 10 \lg \frac{p^2}{p_0^2} = L_p$$

Statistiche

L_{Aeq}	:	Livello sonoro equivalente ponderato (A)
L_{Ax}	:	potenziale (superato per il % del tempo di misurazione)
L_{Amax}	:	massimo
L_{Dn}	:	medio giorno-notte
L_{DEN}	:	medio giorno-sera-notte

Descrittori del rumore (alcuni):

Risultati giunti da: livelli più elevati di inquinamento, e in alcuni casi, mentre quelli inferiori a 10 dB sono sostanzialmente trascurabili

$$= 79,1 \text{ dB}$$

$$L_T = 10 \cdot \log \left[10^{6,0} + 10^{6,0} + 10^{7,2} + 10^{7,8} \right]$$

$$L_4 = 78 \text{ dB}$$

$$L_3 = 72 \text{ dB}$$

$$L_2 = 60 \text{ dB}$$

$$L_1 = 60 \text{ dB}$$

Es.

$$L_T = 10 \cdot \log \frac{I_1 + I_2 + I_3 + I_4}{I_0}$$

$$= 10 \log \left[10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_n}{10}} \right]$$

in dB

$$L_T = 10 \log \frac{I_T}{I_0} \Leftrightarrow \frac{I_T}{I_0} = 10^{\frac{L_T}{10}} = 10 + 10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_n}{10}}$$

$$\Rightarrow 10 \log \frac{I_T}{I_0} = 10 \log \left(10 + 10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_n}{10}} \right)$$

$$L_T = 10 \log \left(10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_n}{10}} \right)$$

Quando utilizzata già: dB per esprimere la somma di livelli sonori:

Analisi in Frequenza

Un medesimo fenomeno fisico può essere descritto in termini di tempo o in termini di frequenza.

Le due descrizioni sono equivalenti, ma la seconda è più adatta per la descrizione di fenomeni periodici.

La trasformata di Fourier è un metodo per caratterizzare un fenomeno in termini di frequenza.

La trasformata di Fourier è un metodo per caratterizzare un fenomeno in termini di frequenza.

La trasformata di Fourier è un metodo per caratterizzare un fenomeno in termini di frequenza.

Ogni banda è caratterizzata da una frequenza di centro banda (f_c) e una larghezza di banda (Δf).

La larghezza di banda ($\Delta f = f_s - f_i$) è una grandezza generale.

La larghezza di banda ($\Delta f = f_s - f_i$) è una grandezza generale.

La larghezza di banda ($\Delta f = f_s - f_i$) è una grandezza generale.

La larghezza di banda ($\Delta f = f_s - f_i$) è una grandezza generale.

La larghezza di banda ($\Delta f = f_s - f_i$) è una grandezza generale.

$$\Delta f / f_c = \text{costante}$$

$$f_c = \sqrt{f_s \cdot f_i}$$

$$\text{in ottave} = \frac{1}{12}$$

$$\rightarrow 0,235$$

$$\rightarrow 0,707$$

$$\text{in terzi di ottava} = \frac{1}{3} \frac{1}{12}$$

La larghezza di banda ($\Delta f = f_s - f_i$) è una grandezza generale.

[1]

vedi sez. pag 14

[1]

vedi sez. pag 14

Sondazione Acustica

A parità di intensità sonora, l'udito umano percepisce una variazione di frequenza al variare della frequenza del suono.

Le curve isofoniche (Fletcher e Munson) sono curve che esprimono la medesima sensazione di un suono a 1000 Hz, per di frequenze diverse.

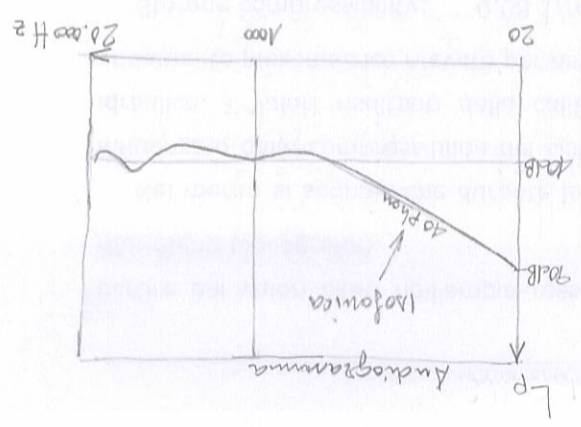
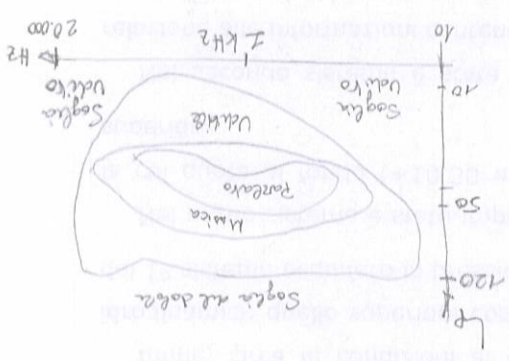
E.A.

$$L_I = 90 \text{ dB} \cdot 20 \text{ Hz} \equiv L_I = 40 \text{ dB} \cdot 1000 \text{ Hz}$$

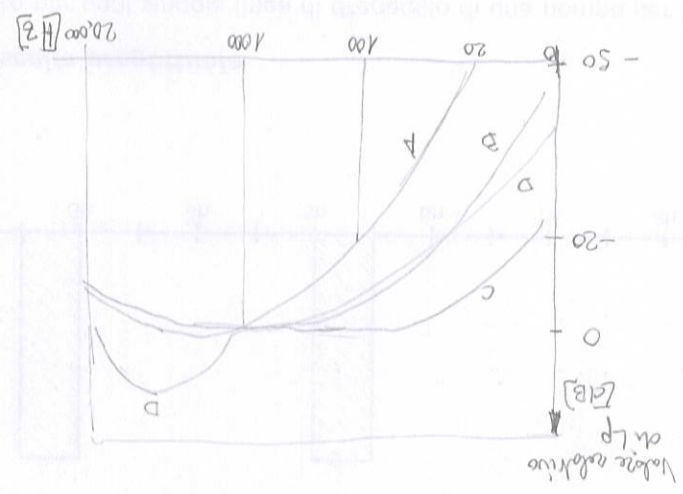
(orecchio medio)

Le isofoniche sono curve sperimentali.

La sensazione originaria è data dalle curve di percezione A, B, C e D, contrarie e normalizzabili per la misurazione con fenomeni, al fine di trasformare i dati in effetti qualitativi.



La curva di percezione A è normalizzata da isofonica a 40 phon, normalizzata a 40 dB/1 kHz e contraria a 60 ± 80 dB. Ora, per comodità, si usa generalmente $L_p(A) \Rightarrow$ si parla di dB(A).



Esempio

f	$\Delta L(A)$
20	-50,5
100	-10,9
1000	+1,2
20000	-9,3

f	L_p	$\Delta L(A)$	$L_p(A)$	L_{p_i}
200	65	-10,9	54,1	54,1
2000	72	+1,2	73,2	73,2
20000	83	-9,3	73,7	73,7

$$L_p(A) = 10 \lg \left(\sum \frac{L_{p_i}}{10} \right) \approx 76,5 \text{ dB(A)}$$

mentre in realtà $L_p(A) \approx 83 \text{ dB}$

PROPAGAZIONE IN AMBIENTI A PERTI

$$L_{\text{ricevute}} = L_{\text{sempre}} - (A_g + A_a + A_i + A_b)$$

A_g = attenuazione geometrica dovuta alla distanza sorgente - ricevente

A_a = assorbimento dell'energia sonora da parte dell'atmosfera

A_t = assorbimento dell'energia sonora da parte del terreno

A_b = assorbimento da parte di barriere interposte

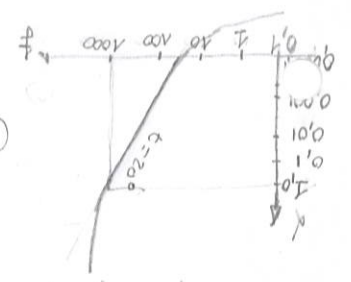
Assorbimento atmosferico

$A_a = \alpha \cdot d$ dove α = fattore di attenuazione atmosferica $\frac{dB}{100m}$

$$[\alpha] = \frac{dB}{100m}$$

L'attenuazione atmosferica α non è costante né a 100 m e per frequenze superiori a 2000 Hz. Una espressione per α è:

$$\alpha = 10 \left(2,05 \cdot \lg \frac{f}{1000} + 4,14 \cdot 10^{-3} \cdot T - 1,92 \right)$$



Temperatura aria in °C

T [°C]	Umidità [%]	50	70	125	250	500	1000	2000	4000
30	50	0,03	0,02	0,10	0,33	0,35	1,3	2,5	2,5
	70	0,02	0,02	0,08	0,24	0,24	1,4	2,5	2,5
20	50	0,04	0,03	0,12	0,28	0,50	1,0	2,3	2,1
	70	0,02	0,03	0,10	0,27	0,54	0,96	2,3	2,1
10	50	0,04	0,11	0,20	0,41	1,2	4,2	3,0	2,5
	70	0,04	0,10	0,20	0,38	0,92	0,81	3,0	2,5
	90	0,03	0,10	0,21	0,38	0,81	2,5	2,5	2,5

A temperatura costante, l'umidità ha una influenza non trascurabile

pas wara → 202 → dikhata koru - 2020

pas wara → 202 → dikhata koru - 2020

$$\Delta_a^{20} = \frac{7.4 \times 10^{-8} \text{ cal}^2}{\text{mol}^2}$$

Umschreibung des Bildes

$$\Delta_{50\%}^{200} = \frac{1 + 4.18 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{f}{t} \cdot (t - 20^\circ)}{\Delta_{\text{aktu}}^{200}}$$

$\Delta_{\text{ATM}}^{20^\circ, 50^\circ}$ $\Delta_{\text{ATM}}^{30^\circ, 50^\circ}$

0'58 0'59 dB

$$\begin{pmatrix} 370 & 018 \end{pmatrix}$$

A_T - Assorbimento del terreno

Le fattori di assorbimento del terreno e' dato dal tipo di superficie (dura o soffice) e dalla presenza di vegetazione, comunque di piante (dalla altezza relativa e dalla presenza di foglie).
 Un coefficiente A_T superiore alla superficie del terreno e' anche funzione in generale della A_T , mentre in alta A_T in aria (distanza del suolo) molto meno.
 La presenza di erba o comunque di arbusti:

$$A_T = (0,18 \lg f - 0,31) \cdot r$$

valida per frequenze $> 50 \text{ Hz}$

a $250/1000 \text{ Hz}$

In un terreno di media r , una sorgente potrà essere a $4,5/2,0 \text{ m}$ dal suolo. Ma non potrà un assorbimento di $5/7 \text{ dB}$ a distanza di $100/150 \text{ m}$.
 Appena aumentata la distanza dal suolo, l'attenuazione si riduce drasticamente.

La presenza di alberi elevati in vegetazione, la sorgente e' alta, distanza in attenuazione:

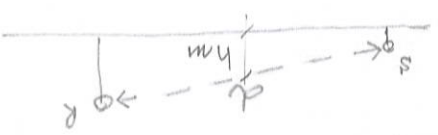
$$A_T = 0,01 \cdot f^{1/3} \cdot r$$

Piu' in generale, effetto suolo/vegetazione della superficie spettrale delle sorgenti attenuazione:

f	A_T	A_{max}
$0 - 500 \text{ Hz}$	0	0
$500 - 1000$	$0,1 \text{ dB/m}$	10 dB
$1000 - 2000$	1 dB/m	$10 \text{ dB a } 100 \text{ m}$

Un'altra esperienza per rilevare l'attenuazione dovuta al suolo e' :

$$\Delta T = 1,8 - 2 \lg m \left(17 + 300 \frac{d}{r} \right)$$



Ag-Divergenza Geometrica

È la differenza tra la distanza e l'angolo di vista. È o quella di maggior valore.

Per una sorgente puntiforme nello spazio libero

$$L_w = L_I + 10 \lg \frac{S_0}{S} \Rightarrow L_I = L_w - 10 \lg S$$

$$S = 4\pi r^2 \text{ (sfere) con } r = \text{distanza sorgente - ricettore}$$

$$\Rightarrow L_I = L_w - 10 \lg 4\pi r^2$$

$$\Rightarrow L_w - 20 \lg r - 11$$

Se da una distanza r , parlo con una coppia a 2r:

$$L_I = L_w - 20 \lg 2r - 11$$

$$\Rightarrow L_w - 20 \lg r - 11 - 20 \lg 2$$

$$\Rightarrow L_w - 20 \lg r - 11 - 6$$

La riduzione di 6dB

Se non sono nello spazio libero, ma la sorgente è posta su un piano:

$$S = 4\pi \frac{r^2}{2} = 2\pi r^2 \Rightarrow L_I = L_w - 20 \lg r - 8$$

Le valori -8 origina da -11+3, in cui il +3 è dovuto alla attenuazione per direzionalità alla sorgente (D)

In generale, il fattore di direzionalità può essere espresso come

$$D = 10 \lg \frac{M}{M_0} \text{ dove } M_0 = 1$$

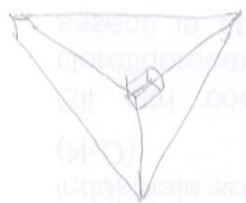
con $M =$ numero dei piani rilevanti

La direzionalità di una sorgente

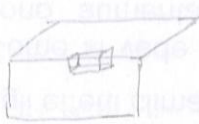
è anche funzione della frequenza o è generata in un'altra per

frequenza medio aere ($> 500 \div 1000 \text{ Hz}$)

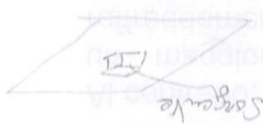
$$M = 3$$



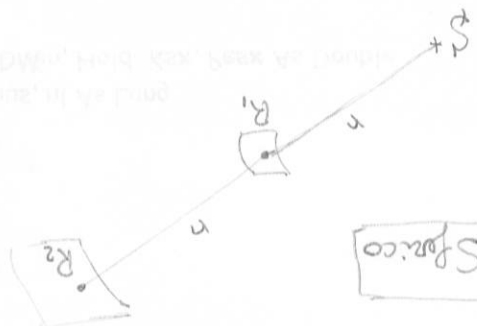
$$M = 2$$



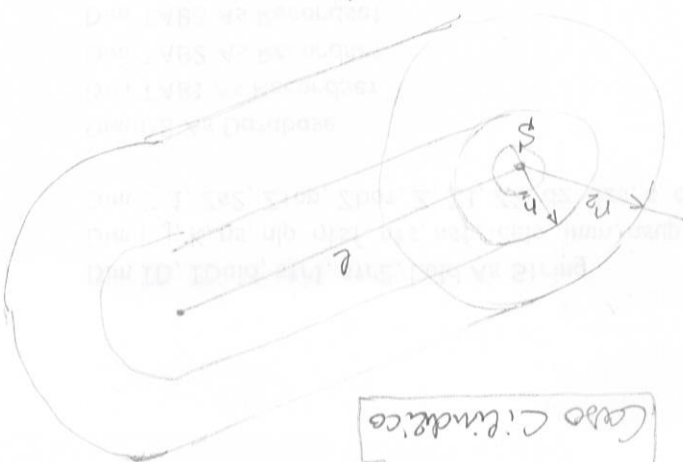
$$M = 1$$



Caso Sferico



Caso Cilindrico



$$L_w = 10 \lg \frac{W}{W_0}$$

$$= 10 \lg \frac{I_0}{I_0 \cos \theta}$$

$$= 10 \lg \frac{I_0}{I_0 \cos \theta} + 10 \lg \left(\frac{4\pi r^2}{1m^2} \right)$$

$$= L_I + 10 \lg 4\pi + 10 \lg r^2$$

$$= L_I + 11 + 10 \lg r^2$$

$$\Delta L_{\text{Sferico}} = 10 \lg \frac{r^2}{r_0^2}$$

$$= 2 \cdot \Delta L_{\text{cilindrico}}$$

$$= 20 \lg \frac{r}{r_0}$$

$$\Delta L_{\text{Sferico}} = 10 \lg \frac{r^2}{r_0^2}$$

$$\Delta L_{\text{cilindrico}} = 10 \lg \frac{r}{r_0}$$

$$= L_I + 0 + 10 \lg r$$

$$= L_I + 10 \lg 2\pi + 10 \lg r$$

$$= 10 \lg \frac{I_0}{I_0} + 10 \lg \frac{1}{2\pi r} + 10 \lg r$$

$$L_w = 10 \lg \frac{W}{W_0}$$

Nota: il livello di potenza sonora ad una distanza r_1 dalla sorgente, e livello alla distanza r_2 diverse rispetto alla paria:

$$L_p = L_p - \Delta L_{\text{Sferico}}$$

$$L_p - 10 \lg \frac{r^2}{r_0^2}$$

$$L_p = L_p - \Delta L_{\text{cilindrico}}$$

$$L_p - 10 \lg \frac{r}{r_0}$$

K_b Barriera

Barriera:
 - $\sigma_{impulsiva} > 10 \text{ kg/m}^2$
 - massiccia e orizzontale o ricavale
 - $L_m > \lambda$
 - non va for.



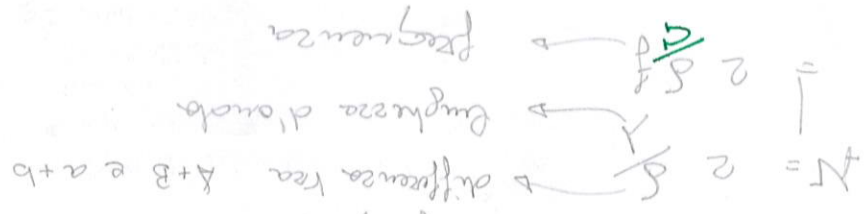
Le barriere, o schermi acustici, intervengono sull'attenuazione della livello sonoro attraverso gli effetti di:

- 1) DIFFRAZIONE: A_D
- 2) ASSORBIMENTO: A_A
- 3) ISOLAMENTO: A_I

1. DIFFRAZIONE

La diffrazione è conseguente al diverso percorso seguito dall'onda sonora per aggirare e ricattare. Per calcolatore

effetto si determina il numero di FRESNEL (N)



Secondo Fehr: $A_D = 10 \lg(40 \cdot N) = 10 \lg(20 \cdot \delta f)$

Maekawa: $A_D = 10 \lg(20 \cdot N^3)$ con $N > 1$

Kuznetsov (1971): $A_D = 5 + 20 \lg \frac{\sqrt{2\pi |N|}}{\lambda a b \sqrt{2\pi |N|}}$

Nota che in generale A_D , a parità di δ , è inversamente proporzionale al rapporto alla lunghezza d'onda, ovvero direttamente proporzionale al rapporto della frequenza.

Una barriera determina un A_D massimo di 20-25 dB globali, che si riducono a pochi dB alle basse frequenze.

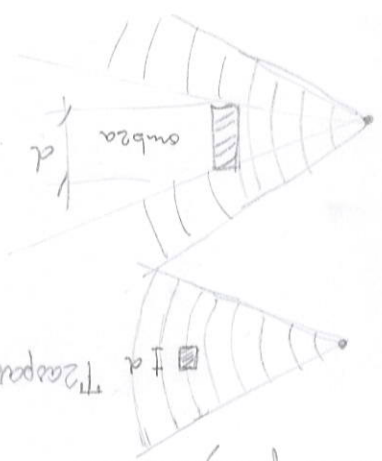
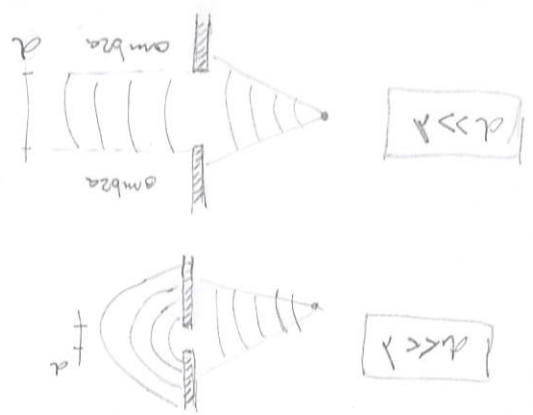
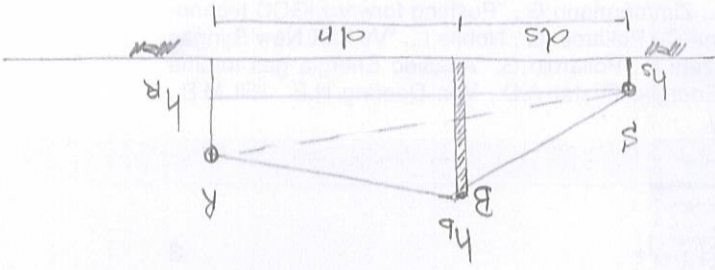


Fig. pag 27 di [2]

BARRIERA SEMPLICE



$$\text{Percorso diretto SR} = \sqrt{(h_r - h_s)^2 + (d_r + d_s)^2}$$

$$\text{Percorso indiretto SR} = S B + B R$$

$$= \sqrt{d_s^2 + (h_b - h_s)^2} + \sqrt{d_r^2 + (h_b - h_r)^2}$$

dove $h_b > h_s \cup h_b > h_r$

δ = Percorso indiretto - Percorso diretto

$$= \sqrt{d_s^2 + (h_b - h_s)^2} + \sqrt{d_r^2 + (h_b - h_r)^2} - \sqrt{(h_r - h_s)^2 + (d_r + d_s)^2}$$

$$N = \text{Numero di Fresnel} = 2\delta \cdot \frac{f}{c} = 2\delta \cdot \frac{f}{c}$$

$$A_{\text{diff}}^{\text{barriera}} = 10 \lg(20N + 3)$$

$$= 10 \lg(20 \cdot 2\delta \cdot \frac{f}{c} + 3)$$

$$= 10 \lg(20 \cdot 2\delta \cdot \frac{f}{c} + 3)$$

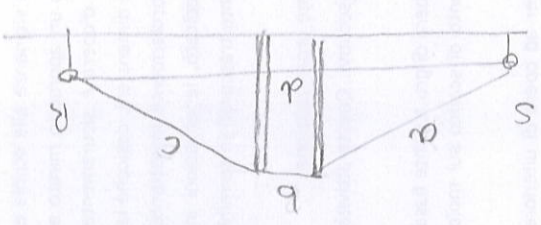
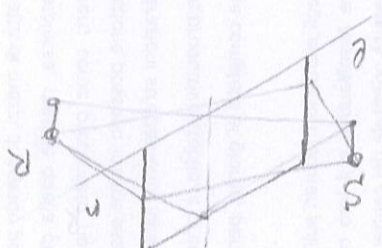
A parità di δ e nelle medesime condizioni ausiliarie ($c = \text{cost}$)

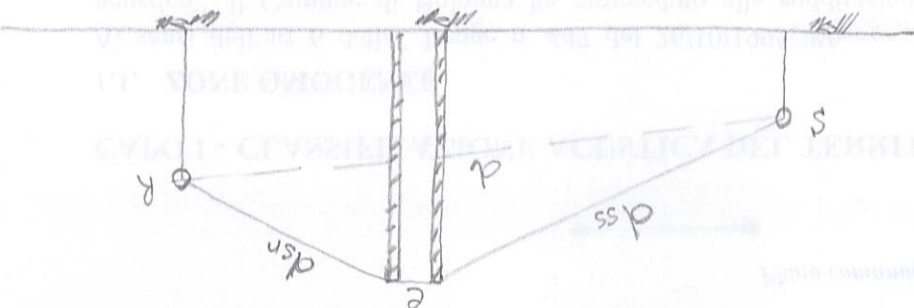
$$A_{\text{diff}}^{\text{barriera}} \propto \lg(\frac{f}{c}) \propto \lg(f)$$

Nel caso di equilibrio:

Nei casi di fenomeno alla periferia anche lui borch :

$$\Delta L = \Delta L_{\text{horizo}} - \lambda_0 \log \left(1 + \frac{\lambda}{\lambda_n} + \frac{\lambda}{\lambda_e} \right)$$





$$A_b^D = 10 \log \left(3 + \frac{A}{C_2} \cdot C_3 \cdot Z \cdot K_{met} \right)$$

$C_2 = 20$, con cui si calcola l'effetto delle riflessioni del terreno

$$Z \approx S = (d_{ss} + e + d_{sr}) - d$$

$$K_{met} = e^{-\frac{1}{2} \cdot \frac{2000}{Z} \cdot d_{ss} \cdot d_{sr} \cdot d / Z}$$

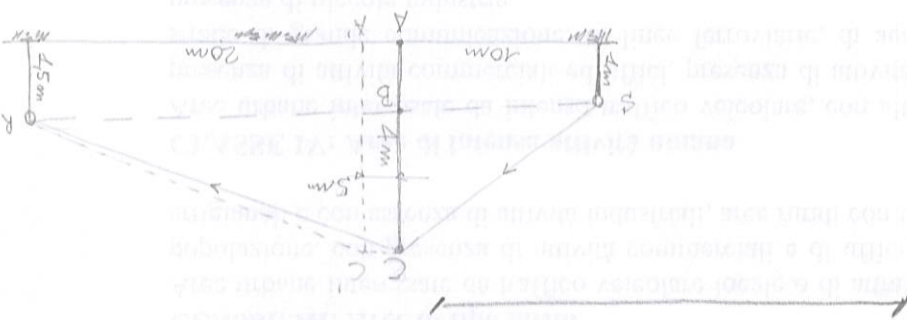
$C_3 = 1$ se non c'è differenza

$$= \frac{1 + \left(\frac{5}{Z} \right)^2}{\frac{1}{3} + \left(\frac{5}{Z} \right)^2}$$

se doppia diffrazione

Esempio

$$\begin{aligned}
 SC &= \sqrt{18^2 + 2^2} \approx 18,1 \text{ m} \\
 CR &= \sqrt{20^2 + 2,5^2} \approx 20,2 \text{ m} \\
 SR &= \sqrt{30^2 + 0,5^2} \approx 30,0 \text{ m}
 \end{aligned}$$



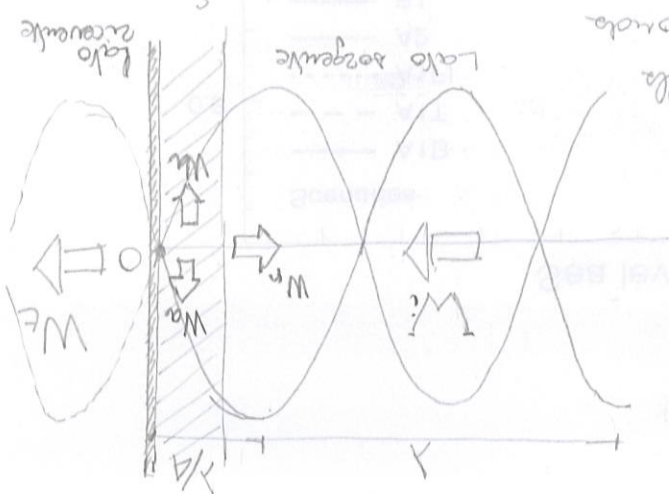
$$Z \approx S = 0,6 \text{ m}$$

λ	f	A_b^D	A_b^D	A_b^D	A_b^D	A_b^D	A_b^D
0,034	10.000	36,47	28,6	21,6	15,6	1,03	13,8
0,17	2000	27,29	22	16	11,6	1,37	20,6
0,68	500	1,82	16	15,6	1,03	1,37	20,6
						2,10	30,5

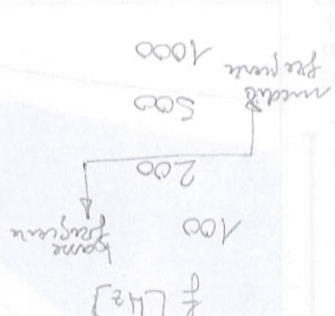
$$\begin{aligned}
 \text{Se si vuole avere } e = 2 \text{ m} \Rightarrow Z = & \sqrt{10^2 + 2^2} + 5 + \sqrt{15^2 + 2,5^2} - \sqrt{30^2 + 0,5^2} \\
 & \approx 0,7 \text{ m}
 \end{aligned}$$

ASSORBIMENTO e ISOLAMENTO

Per una onda sonora incidente normalmente, il punto O è un nodo in quanto il movimento delle particelle all'aria è nullo.



La massima diminuzione è quindi legata alla massima velocità delle particelle di aria ($\lambda/4$). In altre termini, per una onda sonora di frequenza f , a parità di materiale la massima diminuzione è legata ad una spessa pari a $\lambda/4$ ($\frac{3}{4}\lambda$)



$C = \lambda \cdot f = \sqrt{\gamma R T}$
 344 m/s a 20°
 aria gas perfetto

Come si vede, le curve a bassa frequenza recano l'aspetto parabolico mentre elevati, presento l'aspetto a minima effetto sull'isolamento.
 $\alpha = \text{coeff. di assorbimento acustico apparente} = \frac{W_i - W_o}{W_i} = 1 - n = \alpha + t$ (cioè di incidenza) (lato sorgente)

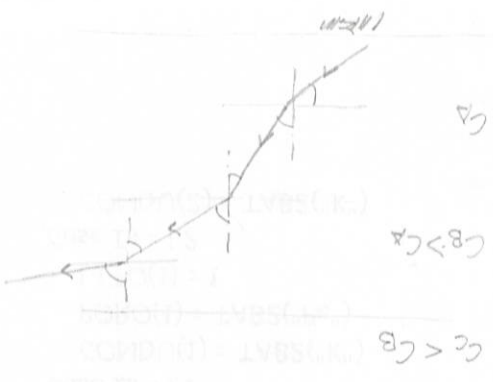
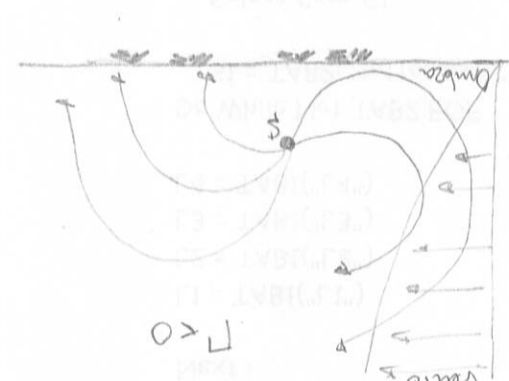
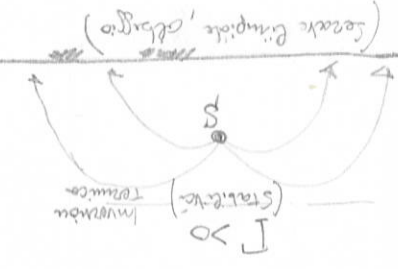
La differenza dalla parte della sorgente, come in un ambiente chiuso

125 Hz	250	500	1000	2000	4000
Lana di roccia (s=2,5 cm)	0,96	0,45	0,61	0,72	0,75
" (s=5 cm)	0,38	0,54	0,65	0,76	0,78
Foamex	0,09	0,08	0,10	0,10	0,10
Mantova perizoa	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05
Legno di pino	0,10	0,10	0,10	0,09	0,10
	0,10	0,10	0,10	0,09	0,12

α è dato teoricamente per ogni frequenza in base alla curvatura delle pareti.
 valore curvatura
 (vedi diagramma a lato)

$\alpha = 0,161 \frac{S}{V} \cdot \left(\frac{1}{z_1} - \frac{1}{z_0} \right)$
 Sup. Campione
 Volume camera
 Tempo di riverbero senza campione
 Tempo di riverbero con campione

$z_0 = \text{tempo di riverbero di un ambiente chiuso} = 0,161 \frac{S}{V} \cdot \alpha \cdot s$ (Sabine)



La trasmissione è una RIFRAZIONE $\Rightarrow$ vale per le onde elastiche $\frac{\sin \theta_1}{c_1} = \frac{\sin \theta_2}{c_2}$

Se sono in atmosfera $c_2 > c_1$

Per i gas $c_1 = \sqrt{\frac{\gamma p}{\rho}}$

Per i solidi $c_2 = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$

$\Rightarrow$ quando da aria ad mezzo solido $\theta_2 > \theta_1$

I materiali poro-assorbenti hanno bassa rigidità, bassa densità, elevata porosità
I materiali poro-reflectanti hanno elevata rigidità, elevata densità, bassa porosità
I materiali poro-attenuanti hanno bassa rigidità, elevata densità, elevata porosità
I materiali poro-attenuanti hanno elevata rigidità, elevata densità, elevata porosità
I materiali poro-attenuanti hanno elevata rigidità, elevata densità, elevata porosità

FOONISOLAMENTO (Fato accustico)

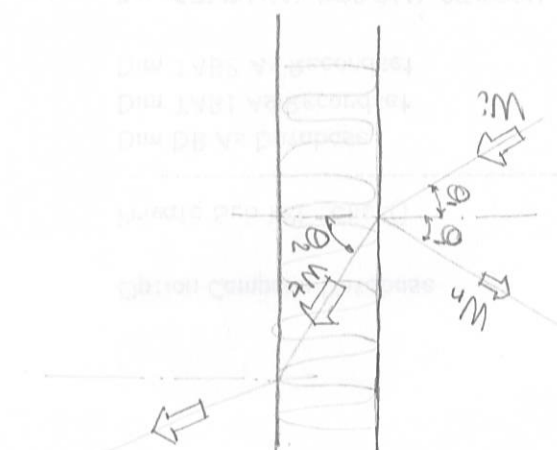
$R = \text{potenza riflessa} = 10 \log \frac{W_r}{W_t} = 20 \log \left(\frac{W_r}{W_t} \right) = 20 \log \left(\frac{1}{1} \right) = -42.5$

$\alpha = \text{coeff. di assorbimento acustico apparente} = 1 - R = \frac{W_t - W_r}{W_t}$

$\alpha = \text{coeff. di assorbimento acustico apparente} = 1 - R = \frac{W_t - W_r}{W_t}$

$R = \text{potenza riflessa} = 10 \log \frac{W_r}{W_t} = 20 \log \left(\frac{W_r}{W_t} \right) = 20 \log \left(\frac{1}{1} \right) = -42.5$

$\alpha = \text{coeff. di assorbimento acustico apparente} = 1 - R = \frac{W_t - W_r}{W_t}$



$$W_i = W_r + W_t$$

Riflessione (n)	Trasmissione (t)	Assorbimento
W_n	W_t	W_a

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

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

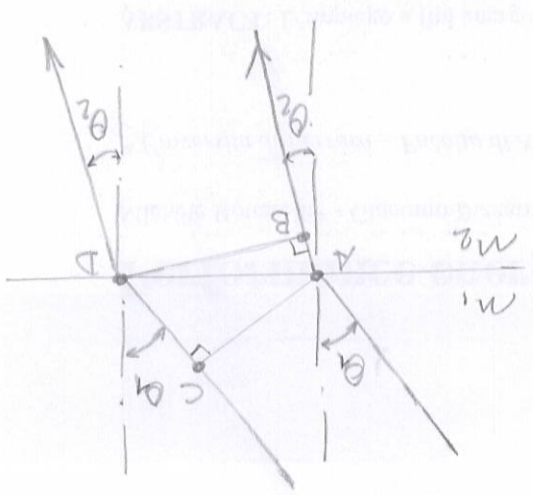
$T = \text{coeff. di trasmissione} = \frac{W_t}{W_i}$

RIFRAZIONE

Sono tracciati i percorsi di un fronte di onde piane, incidenti da un mezzo di separazione fra due mezzi secondo un angolo θ_1 .

In C l'onda è in fase con quella in A. In D l'onda sarà in fase con quella in B.

$\Rightarrow$ Il tempo impiegato dall'onda per andare da C a D, sarà il medesimo di quello per andare da A a B.



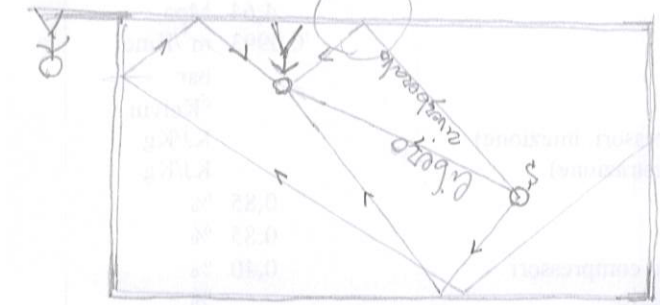
$$\frac{AD \cdot \sin \theta_1}{v_1} = \frac{AB \cdot \sin \theta_2}{v_2}$$

con v_1, v_2 e velocità di propagazione nei due mezzi

$$\frac{\sin \theta_1}{v_1} = \frac{\sin \theta_2}{v_2}$$

in aria: $v = c = \sqrt{\epsilon \cdot \mu}$

gas perfetto $\Rightarrow \sqrt{\epsilon \cdot \mu} = \sqrt{\epsilon \cdot \mu \cdot \gamma}$



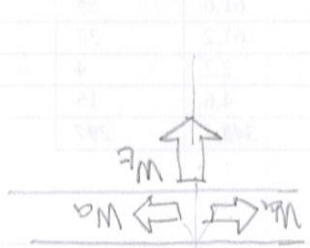
$W_i = W_n + W_a + W_e$
 incidente
 riflessa
 trasmessa

$D = \text{densità sonora}$
 $\frac{F}{V} = \frac{I \cdot S \cdot dt}{V} = \frac{I \cdot S \cdot dt}{\frac{4}{3}\pi r^3}$
 $\frac{P^2}{\rho c^2}$ (val. costante in tutti i cor.)
 per un'onda piana

campo di flusso (sotto direzione privilegiata)

$D_0 = \frac{4W}{\lambda_m S \cdot c}$
 densità di flusso di energia

$D_0 \Rightarrow D_0 = \frac{1}{10} \Rightarrow 60 \text{ dB}$
 calo di 60 dB



I flussi di riverbero e di assorbimento dipendono dalla divergenza geometrica (diversità) e dall'assorbimento apparente ($W_a + W_e$).

$\alpha = \text{coeff. di assorbimento apparente}$
 dipende dal tipo di ambiente

Si dimostra che, per dimensioni geometriche simili, onde piane e α piccoli, vale la relazione:

$\frac{W_a}{W_a + W_e} = \frac{W_i}{W_i + W_e} = \alpha + \epsilon = 1 - \epsilon$
 coeff. di assorbimento

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

Sulla piana in serie le logaritmi: $\ln(1 - \alpha) = -(\alpha + \frac{\alpha^2}{2} + \frac{\alpha^3}{3} + \dots)$ $\Rightarrow -\alpha$

Formula di Eyring

Formula di Sabine

$\Rightarrow Z_n = 0,16 \cdot \frac{\sum \alpha_i S_i}{V}$

Si può porre $\alpha_m = \text{coeff. di assorbimento acustico apparente medio}$

(media pesata)

$R =$ costante d'ambiente

$\frac{1}{R} = \frac{\alpha_m \cdot S}{V}$

$\alpha_m < 0,2 \div 0,3$
 diminuzione apprezzabile di livello ha

quasi α è piccolo

⑧ FORMULA DI EYRING

Δz = valore medio

= intervallo di tempo che intercorre mediamente fra due rifornimenti di tutta l'energia emessa dalla sorgente all'interno di un ambiente

$$E = D \cdot V = I \cdot \Delta z \cdot S \Rightarrow \Delta z = \frac{D \cdot V}{I \cdot S}$$

in condizioni di
Affollamento
 $D = D_0$

$$= \frac{1}{S \cdot \Delta z} \cdot \frac{D \cdot V}{I} = \frac{1}{S \cdot \Delta z} \cdot \frac{D_m \cdot S \cdot C}{W} \cdot \frac{W}{N}$$

$\frac{D_m \cdot S \cdot C}{W}$ è il coefficiente di riflessione media, ad ogni

Se intercorra la sorgente, detto n_m il coefficiente di riflessione media, ad ogni intervallo Δz , la densità nuova di viene:

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

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

$$\vdots$$

$$D_{m\Delta z} = D_0 \cdot n_m^m$$

però $z = m \cdot \Delta z \Rightarrow D_z = D_0 \cdot n_m^{\frac{z}{\Delta z}} = D_0 \cdot n_m^{2 \cdot \frac{z}{S \cdot \Delta z}}$

Quindi:

$$\frac{D_z}{D_0} = \frac{I_0}{I_z} = n_m^{2 \cdot \frac{z}{S \cdot \Delta z}}$$

Si definisce z_c = tempo caratteristico di riveduto, quel tempo per cui $\frac{D_{z_c}}{D_0} = 10^{-6}$

$$\Rightarrow 10^{-6} = n_m^{2 \cdot \frac{z_c}{S \cdot \Delta z}}$$

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

$$\ln 10^{-6} = \ln (1 - \alpha_m)^{2 \cdot \frac{z_c}{S \cdot \Delta z}}$$

$$-13,82 = z_c \cdot \frac{2}{S \cdot \Delta z} \cdot \ln (1 - \alpha_m)$$

$$\Rightarrow z_c = - \frac{13,82 \cdot S \cdot \Delta z}{2 \cdot \ln (1 - \alpha_m)}$$

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

Si dimostra che:

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

Costante di attenuazione

$$\frac{1}{4\pi R^2} \frac{Q}{R^2}$$

indecine nel campo
di 11 m (nuovo rimbombato)

La condizione per cui le due componenti hanno la stessa intensità in un dato punto è

$$\frac{Q}{4\pi R^2} = \frac{Q}{4\pi R^2} \Rightarrow R = \sqrt{\frac{Q}{4\pi I}}$$

$$R = \sqrt{\frac{Q}{4\pi I}}$$

raggio di risonanza

$$d < R_c$$

+ il nuovo o dato vecchio (campo libero)

+ il livello sonoro diminuisce ad ogni raddoppio della distanza di 6 dB

+ il nuovo rimbombato arriva dopo con intensità inferiore (eco)

$$d > R_c$$

+ il livello sonoro varia poco con la distanza

+ il nuovo rimbombato è più forte di quello diretto (eco sonora)

Dimostrazione di pag 16

Caso senza rimbombato in prova

Caso con rimbombato in prova

$$I_0 = 0,16 \cdot \frac{Q}{4\pi R^2} \Rightarrow I_0 = 0,16 \cdot \frac{Q}{4\pi R^2}$$

$$I_0 = 0,16 \cdot \frac{Q}{4\pi R^2} \Rightarrow I_0 = 0,16 \cdot \frac{Q}{4\pi R^2}$$

$$\alpha = 0,16 \cdot \frac{Q}{4\pi R^2} \cdot \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

indecine nel campo
di 11 m (nuovo diretto)

$$\frac{Q}{4\pi R^2} \frac{Q}{R^2}$$

indecine per il campo

$$2^n = 10 \lg \left(\frac{Q}{4\pi R^2} \right)$$

⑧ LEGGE DEL CAMPO CONFINATO

la condizionale di saturazione

$$D_{sat} = \frac{A}{W} \cdot \alpha_m \cdot S \cdot C$$

Esercizio: bilancia energetica in parte (Δz=1)
 media m/r a un tempo (Δz=1)

dove $W_A = W_a + W_n$

$$\Rightarrow (1 - \alpha_m) \cdot W_c = W_n$$

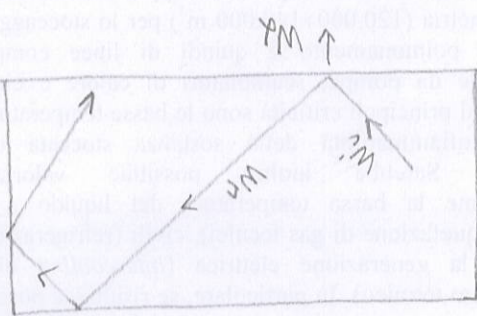
Per le condizioni di saturazione

$$W_n = \alpha_m \cdot S \cdot C \cdot D$$

$$\int \alpha_m \frac{A}{C} \cdot S \cdot E$$

$$\int \alpha_m \cdot \frac{A}{C} \cdot \frac{A}{S} \cdot \frac{A}{W_c} \cdot \frac{A}{W_c} \cdot \frac{A}{W_c} = 1$$

$$\int \alpha_m \cdot \frac{A}{C} \cdot \frac{A}{S} \cdot \frac{A}{W_c} \cdot \frac{A}{W_c} \cdot \frac{A}{W_c} = 1$$



Se in un ambiente medico e perfetto, medico lo era costante di ambiente R.

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}$$

$$L^2 = Lw + 10g \left(\frac{R_2}{4} + \frac{Q}{4\pi R_2^2} \right)$$

$$L_1 - L_2 = 10 \log \left(\frac{P_2 + 0.47 \mu W}{P_1 + 0.47 \mu W} \right) \text{ dB or } \text{dave}$$

above

$$R_I = \frac{\alpha_m}{1 - \alpha_m} \cdot \frac{\frac{C_m}{C_I} \alpha_I^I S_I}{\frac{C_m}{C_I} \alpha_I^I S_I}$$

Se nel paragrafo della condizione "1" alla "2", assumo mediamente gli d_i , assumo $\alpha_m^T \Rightarrow$ assumo $\beta_j \Rightarrow$ dedurre β_j^T

Exemplo

$$\begin{pmatrix} 0.04 \\ 0.04 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \text{Invest} \\ \text{Mutual fund gross at 1000 hrs} \end{pmatrix}$$

$$\alpha_m = 0.04$$

$$R_1 = \frac{d_m}{d_m - d_{m1}} \cdot S = \frac{1 - 0.04}{0.04} \cdot 1$$

$$t_{9''} = \frac{1.32 \times 10^{-2}}{2.8 \times 10^{-2}} \cdot 9.16 = 4.2$$

$$\alpha_{\text{vert}}^2 = 0,6 \quad \left(\text{lava di roccia a } 1000 \text{ Hz} \right)$$

$$\lambda_2 = 0.1 \text{ (kg m}^{-2} \text{ s}^{-2})$$

$$\alpha_z^m = \frac{0.6 \times 60 + 0.4 \times 48}{0.378} = 108$$

$$R_2 = \frac{0.328}{1 - 0.328} \cdot 100 = 65.6 \text{ m}^2$$

$$Z_n = 0.16 \cdot \frac{72m_3}{0.28}$$

[illegible]

$$r_c = \sqrt{\frac{6 \cdot R_1}{16\pi}} \approx 0.73 \text{ m}$$

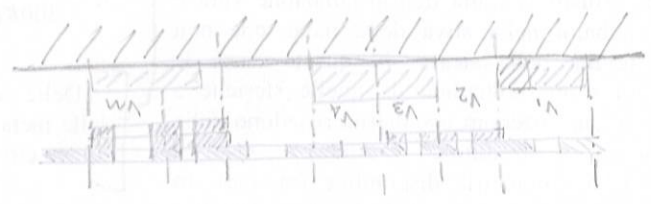
$r_c^2 = \sqrt{\quad} \approx 2,80 \text{ m}$ (traffo con bruciatore diretto)

Risonanze di Helmholtz

$$f_0 = \text{frequenza di risonanza} = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{V \cdot L}{S}}$$

È un sistema per aumentare elaborabilmente acustico in parte. Funziona in modo molto attivo, allora si elimina in parte all'efficienza per aumentare la banda di lavoro, attraverso l'innalzamento di materiali poro assorbente all'interno della cavità.

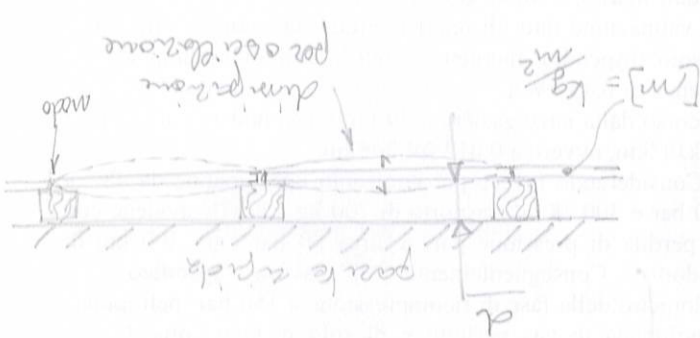
Disegnando più per l'Europa una parte, che si può realizzare con spessori, di risonanza multipli, di poro articolato con spessori.



Pannelli vibranti

$$f_0 = \text{frequenza di risonanza} = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{m \cdot d}{\rho}}$$

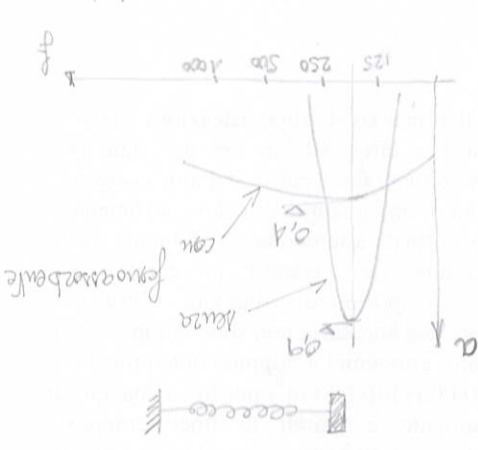
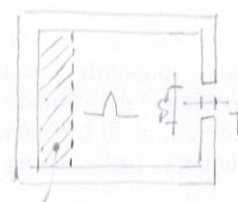
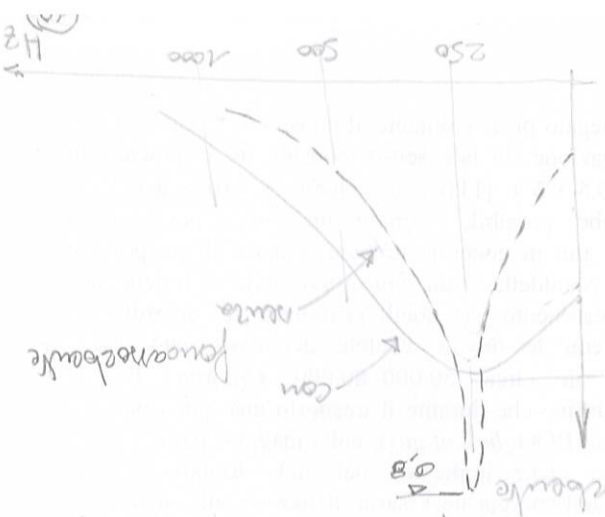
Labels: m = massa superficiale, d = spessore di pannello, ρ = densità di massa



$$f_0 = \frac{1}{60} \sqrt{\frac{m \cdot d}{\rho}}$$

Un'altra formula più semplice è:

Anche in questo caso si parla di elasticità relativa ρ , per onde diminuita, accumulata all'innalzamento di materiali poro assorbente.



I pannelli forati sono molto utili, medio bene funziona (125-1000 Hz)

$$F_m = \frac{W_t}{W_t} = \left[1 + \left(\frac{p_c}{\pi m f} \right)^2 \right]^{-1} \approx \frac{1}{1 + \left(\frac{p_c}{\pi m f} \right)^2}$$

in campo libero per onde piane incidenti normalmente la parete piana

$$m = \text{massa superficiale} = \frac{\text{Spessore}}{\text{Spessore}} \quad p_c = \text{impedenza dell'aria} \approx 415 \text{ rayls}$$

Si definisce POTERE FONDISOLA VITE "R"

$$R = 10 \lg \frac{W_i}{W_o} - 10 \lg \frac{W_t}{W_o} = 10 \lg \frac{W_i}{W_o} - 10 \lg W_e$$

$$\left[10 \lg W_i - 10 \lg W_e \right]$$

è la differenza di R

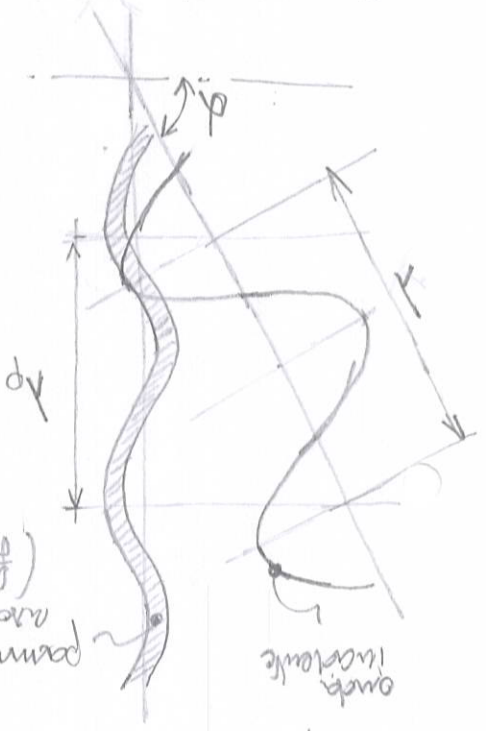
livello di potenza incidente
livello di potenza trasmessa
L_{Wt}
L_{Wi}

$$10 \lg \left(\frac{p_c}{\pi m f} \right)^2 \approx 10 \lg (10 \lg (m f)^2) - 42,4$$

$$\text{In campo perfettamente diffuso} \rightarrow R_d = 10 \lg (m f)^2 - 47,2$$

$$\text{In campo mediamente diffuso} \rightarrow R = R_m - 10 \lg (0,23 \cdot R_m)$$

onde piane
onde incidenti
pennello in
risonanza
 $\left(\frac{f}{f_0} = \frac{60}{60} \right)$

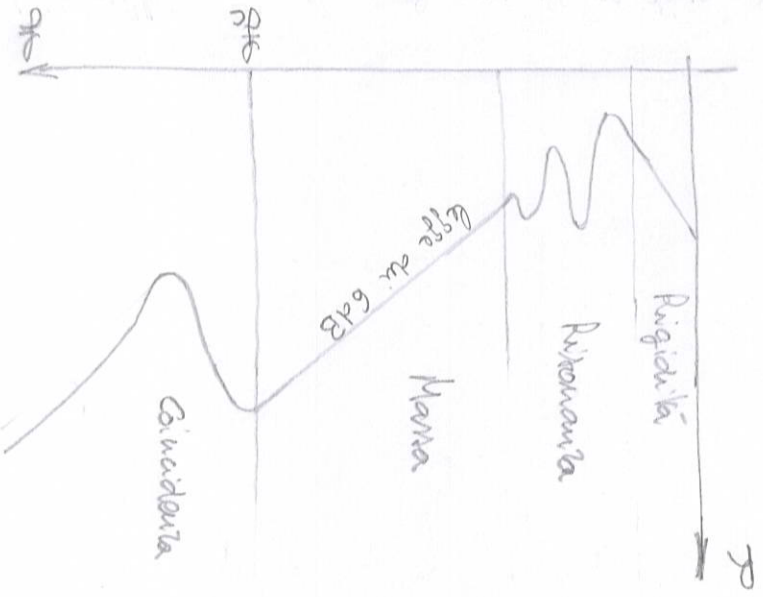


Ogni pennello ha la sua frequenza di risonanza.

Quando l'onda incidente verifica $\lambda \cdot \text{sen} \alpha \approx \lambda_p$, il pennello entra in risonanza, quindi ha la massima forza d'urto e in caso di fenomeno.

Al limite ($\alpha = \pi/2$) ho la massima lunghezza d'onda ($\lambda = \lambda_p$), cui corrisponde la massima frequenza a cui si evidenzia il fenomeno:

$$f_c = \frac{c}{\lambda_p}$$



Esempio: Calcolo dei poteri parziali delle porte

	125	250	500	1000	2000	4000
R _{porta}	28	31	30	39	42	46
R _{porta}	29	26	31	22	26	34

Per definizione $R_M^f = 10 \log \frac{1}{E_M^f}$ ad una data frequenza

$$\frac{1}{R_M^f} = \frac{1}{10} \log \frac{1}{E_M^f} \rightarrow E_M^f = \frac{1}{10} \frac{R_M^f}{10}$$

Avendo più materiali in parallelo $E_M^f = \frac{E_{porta}^f \cdot S_{porta} + E_{parete}^f \cdot S_{parete}}{S_{porta} + S_{parete}}$

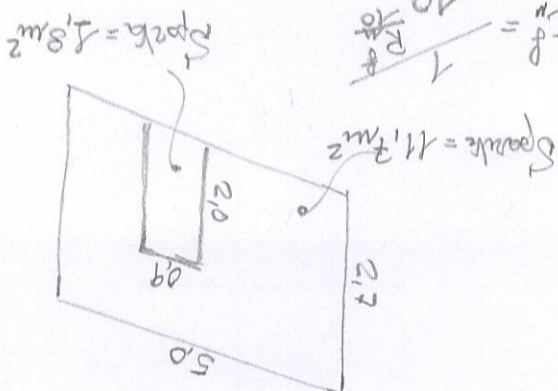
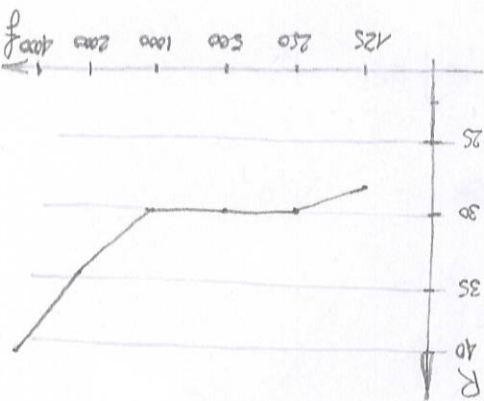
Prendiamo ad esempio $f = 1000 \text{ Hz}$

$$E_M^f = \frac{10 \cdot 11,7 + 10 \cdot 1,8}{11,7 + 1,8} = 9,8 \times 10^{-4}$$

e quindi $R_M^{1000} = 10 \log \frac{1}{E_M^{1000}} = 30,1 \text{ dB}$

Completiamo:

$E_M^f [10^{-3}]$	125	250	500	1000	2000	4000
$E_M^f [10^{-3}]$	1,5	1,0	0,97	0,98	0,39	0,035
$R_M^f [\text{dB}]$	28,1	29,9	30,1	30,1	34,1	41,3

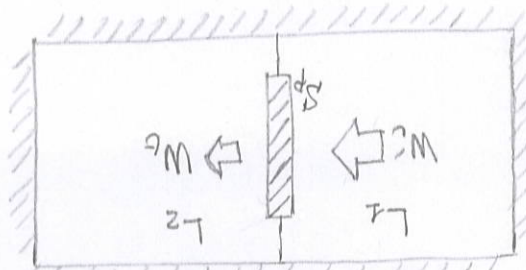


ISOLAMENTO ACUSTICO (per via aerea)

$D = \text{isolamento acustico}$
 $L_1 - L_2 = 10 \lg \frac{D}{D_2}$

nell'ambiente sorgente "1", in condizioni di trasmissione acustica:

$D_1 = D_0 = \text{densità sonora a trasmissione} =$



$\frac{A W_1}{S_p}$ → potenza sonora della sorgente

in superficie ambiente 1

coefficiente di ass. acustico approssimativo

$\Rightarrow W_1 = I_1 \cdot S_p \Rightarrow I_1 = \frac{W_1}{S_p}$

$\Rightarrow D_1 = \frac{A W_1}{W_1 \cdot S_p} = \frac{A}{S_p} \cdot \frac{W_1}{S_p} \cdot c$

$\frac{A W_1}{S_p}$

a regime nell'ambiente 2 sono:

$D_2 = \frac{A W_2}{W_2 \cdot S_2 \cdot c}$

$\Rightarrow \frac{D_1}{D_2} = \frac{\frac{A W_1}{S_p}}{\frac{A W_2}{S_2 \cdot c}} = \frac{W_1 \cdot c}{W_2 \cdot S_2} \cdot \frac{S_p}{c}$
 $W_2 = I_2 \cdot W_1$

$\Rightarrow D = L_1 - L_2 = 10 \lg \frac{D_1}{D_2} = 10 \lg \frac{W_1 \cdot c}{W_2 \cdot S_2} \cdot \frac{S_p}{c}$

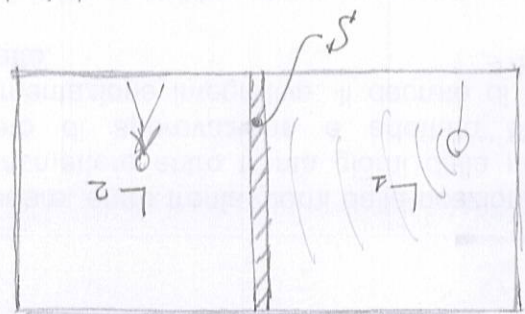
$= 10 \lg \frac{1}{c} - 10 \lg \frac{S_p}{S_2 \cdot c}$

$= R - 10 \lg \frac{S_p}{S_2 \cdot c}$

$A_2 = \text{attenuamento globale sul secondo ambiente}$

area di riferimento
 area acustica
 per via

$$L_1 - L_2 = R - 10 \lg \left(\frac{S}{A_2} \right)$$



Per ricavare dalle caratteristiche acustiche, si assume $A_2 = 10 \text{ m}^2$ e si

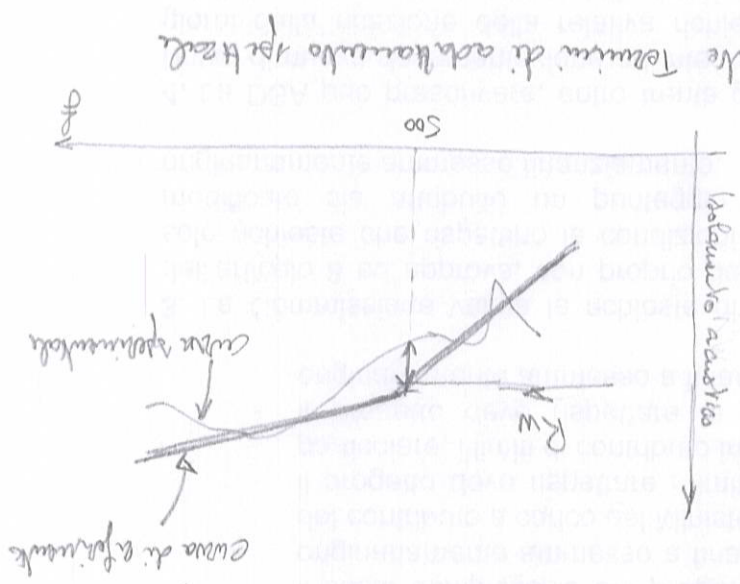
definisce: $D_m = R - 10 \lg \left(\frac{S}{10} \right) = \text{isolamento acustico normalizzato}$

Sia R che D_m dipendono dalla frequenza. Per consentire una valutazione
 media del comportamento, si segue una procedura per attribuire:

- l'indice di valutazione del potere fonoisolante R_w weight

- l'indice di valutazione dell'isolamento acustico normalizzato $D_{m,w}$

R_w si legge convenzionalmente a 500 Hz
 Si parla poi di R_w (indice di isolamento
 acustico apparente) quando l'isolamento
 è eseguito in opera e non in laboratorio
 In più si aggiungono i termini correttivi:



alti più significativamente Termini di adattamento spettrale
 C_{tr} , C_{tr}

Ad esempio, nei cataloghi si trova: $R_w = 55 \text{ dB}$, $C = -2 \text{ dB}$, $C_{tr} = -5 \text{ dB}$
 Significa che in laboratorio, l'isolamento di un rivestimento di riferimento
 una attenuazione di 57 dB con il punto zero, di 60 dB con l'effetto

$DL_d =$ indice di valutazione dell'aspiramento a carriera

$$\frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\theta_i} \log \frac{1}{\theta_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\theta_i} \log \frac{1}{\theta_i}} \quad \text{by or } - \quad \uparrow$$

$\alpha_{8i} = \text{coeff di } x_{8i} \text{ nell'ultima banca di un vertice di } G$

L'_i = livello di parire a livello, parcellato A, notualizzato dello spettacolo di lumore nell'ultima banda di un verso di ottava

$$\Delta L_R = -\log \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{10^{q_i L}}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{10^{q_i L} \times 10^{q_i R}}}$$

$R_i = \text{potere parabolico nell'orbita banca di } 1/3 \text{ di ottava}$
 $= \text{indice di valutazione dell'isolamento acustico per via aerea}$

$L_2 =$ come sopra

BIBLIOGRAFIA

- [1] Acustica in Edilizia, P. Fauriol, F. Pomposi -
Rockwood Italia
- [2] Progettabilità acustica, A. Maggini - EPC Liba,
ISBN 88-8184-352-8
- [3] La Progettazione delle locazioni acustiche, A. Demarelli -
Le Scie 2402, ISBN 88-324-4502-6
- [4] Manuale di controllo del Rumore, C. H. Harris -
Tecniche Nuove, ISBN 88-7081-074-7
- [5] Corso base di acustica, Bruel & Kjaer Italia
- [6] Elementi di acustica, Ediz. Ricca
F. Ricciardi, McGraw-Hill 2003