Università degli Studi di Ferrara
Corso di Laurea in Ingegneria Elettronica

Fisica Tecnica
Formulario di Acustica

di
Tarin Gamberini

taringamberini [at] taringamberini [dot] com
www.taringamberini.com

Corso di Fisica Tecnica (Vecchio Ordinamento)
Anno Accademico 1999/2000
Docenti P. Fausti, G. Morini

Grandezze caratteristiche

Pressione efficacie: $p_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T p^2(t)\ dt} \quad [Pa]$

Impedenza acustica: $Z = \rho c \quad \left[\frac{Kg}{m^2 s}\right] = [rayl]$

Intensità acustica: $I = p_{eff} V_{eff} = \frac{p_{eff}^2}{\rho c} = \frac{W}{S} \quad \left[\frac{W}{m^2}\right]$

Densità di energia sonora: $D = \frac{E(t)}{V} = \frac{I}{c} = \frac{p_{eff}^2}{\rho c^2} \quad \left[\frac{W}{m^2}\right]$

Potenza acustica: $W = IS = DcS \quad [W]$

Livelli Sonori

Sono la rappresentazione in decibel delle grandezze:

$$L_p = 10\log\frac{p_{eff}^2}{p_{rif}^2} \qquad \text{Livello di pressione sonora}$$

$$L_I = 10\log\frac{I}{I_{rif}} \qquad \text{Livello di intensità sonora}$$

$$L_W = 10\log\frac{W}{W_{rif}} \qquad \text{Livello di potenza sonora}$$

$$L_D = 10\log\frac{D}{D_{rif}} \qquad \text{Livello di densità di energia sonora}$$

in cui i valori di riferimento sono i minimi percepibili:

$$p_{rif} = 2\times 10^{-5}\ [Pa] \qquad I_{rif} = 10^{-12}\ \left[\frac{W}{m^2}\right] \qquad W_{rif} = 10^{-12}\ [W]$$

$$D_{rif} = \frac{I_{rif}}{c_0}\ \left[\frac{J}{m^3}\right] \qquad S_{rif} = 1\ \left[m^2\right] \qquad W_{rif} = I_{rif} S_{rif}$$

Date $S_1, S_2 \dots S_n$ sorgenti con livello di pressione $L_{p1}, L_{p2} \dots L_{pn}$ rispettivamente, il livello di pressione totale è dato da:

$$L_{ptot} = 10\ log\left(10^{\frac{L_{p1}}{10}} + 10^{\frac{L_{p2}}{10}} + \ldots + 10^{\frac{L_{pn}}{10}}\right)$$

Bande e Rumore

Rumore bianco: In banda stretta ha un livello energetico costante, di conseguenza in banda da 1/1 e 1/3 d'ottava presenta un'inclinazione di $+3dB/\Delta f$.

Rumore rosa: In banda da 1/1 e 1/3 d'ottava presenta un livello energetico costante, di conseguenza in banda stretta presenta un'inclinazione di $-3dB/\Delta f$.

Banda	f_s	$\Delta f = f_s - f_i$	$f_c = \sqrt{f_i f_s}$	$\frac{\Delta f}{f_c}$ costante
$\frac{1}{1}$ di ottava	$2^{\frac{1}{1}} f_i$	f_i	$f_i\sqrt{2}$	$\frac{1}{\sqrt{2}}$
$\frac{1}{3}$ di ottava	$2^{\frac{1}{3}} f_i$	$f_i(2^{\frac{1}{3}} - 1)$	$f_i\sqrt{2^{\frac{1}{3}}}$	$\frac{2^{\frac{1}{3}}-1}{\sqrt{2^{\frac{1}{3}}}}$

Sorgenti sonore in campo libero

Indipendentemente dal tipo di sorgente in *campo libero* vale $L_I \approx L_D \approx L_p$.

Tipi di sorgenti

Sorgente	$I = \frac{W}{S}$ $\frac{W}{m^2}$	$L_I\ dB$	$\Delta L\ dB$
Puntiforme	$\frac{W}{4\pi d^2}$	$L_W - 11 - 20\log d$	$20\log\frac{d_2}{d_1}$
Lineare	$\frac{W_l}{2\pi d^2}$	$L_W - 8 - 10\log d$	$10\log\frac{d_2}{d_1}$

Indice di direttività: $Q = \frac{I_\theta}{I_0} = \frac{W_\theta/S_\theta}{W_0/S_0} = \frac{S_0}{S_\theta}$

Direttività: $D = 10\log Q$

Sorgente	Q	D
Puntiforme libera	1	0
Puntiforme su piano	2	3.01
Puntiforme su spigolo	4	6.02
Puntiforme su vertice	8	9.03
Lineare libera	1	0
Lineare su piano	2	3.01
Lineare su spigolo	4	6.02

Barriere acustiche

Vale, sotto opportune ipotesi, la legge di Maekawa, per determinare l'attenuazione introdotta da barriere acustiche:

$$\Delta L_B = 10\log(3 + 20N)$$

noto il numero di Fresnell $N = 2\delta/\lambda$, con $\delta = cammino\, difratto - cammino\, diretto$ e $\lambda = c/f$.

Il livello di una sorgente in presenza di barriera si calcola come:

$$L_{con\ barr} = L_{senza\ barr} - \Delta L_B$$

Formula generale per sorgenti in campo libero

Indipendentemente dal tipo di sorgente in *campo libero* vale $L_I \approx L_D \approx L_p$.

La direttivita Q aumenta il livello di intensità sonora I, l'attenuazione ΔL (per barriere od altro) lo diminuisce.

Valgono allora le formule generali:

$$L_I = L_W - 11 - 20 \log d + 10 \log Q - \Delta L_B \qquad \text{per sorgente puntiforme}$$
$$L_I = L_W - 8 - 10 \log d + 10 \log Q - \Delta L_B \qquad \text{per sorgente lineare}$$

Sorgenti Sonore in Campo (Semi)Riverberante

Indipendentemente dal tipo di sorgente in *campo (semi)riverberante* vale $L_I \neq L_D \approx L_p$.

Tempo di riverberazione

Il tempo di riverberazione τ_0 è calcolato con la formula di Sabine:

$$\tau_0 = 0.161 \frac{Volume}{A + A_{oggetti}} \qquad A = \sum_i \alpha_i S_i = \overline{\alpha} S_{tot} \qquad \overline{\alpha} = \frac{\sum_i \alpha_i S_i}{S_{tot}}$$

con A area equivalente di assorbimento acustico.

Livello sonoro in campo semiriverberante

Il livello sonoro in campo semiriverberante (campo diretto + campo riflesso):

$$L_{D\ in\ R} = L_W + 10 \log \left(\frac{Q}{4\pi d^2} + \frac{4}{R} \right) \qquad R = \frac{\overline{\alpha} S_{tot}}{1 - \overline{\alpha}}$$

con R costante d'ambiente.

Livello sonoro in campo riverberante

Il livello sonoro in campo riverberante (campo completamente diffuso):

$$L_D = L_W + 10 \log \left(\frac{4}{A} \right)$$

con A area equivalente di assorbimento acustico.

Isolamento Acustico

Potere fonoisolante

Il potere fonoisolante di una parete che separa l'ambiente Sorgente da quello Ricevente è dato dalla formula:

$$R = L_S - L_R + 10 \log \frac{S}{A}$$

con S superficie della parete ed A area equivalente di assorbimento acustico, ricavabile dal tempo di riverberazione e dal volume della stanza ricevente.

Indice di valutazione

L'indice di valutazione R_W del potere fonoisolante è definito come il valore a 500 Hz della curva di riferimento R_{rif} traslata in basso, di 1 dB alla volta, quando viene verificata l'espressione:

$$\frac{\sum_{i=1}^{numero\ bande} Scostamenti\ Favorevoli_i}{numero\ bande\ di\ riferimento} \leq 2$$

dove per scostamento favorevole si intende:

$$Scostamento\ Favorevole = \begin{cases} R_{rif} - R & \text{se } R_{rif} - R \geq 0, \\ 0 & \text{altrimenti.} \end{cases}$$

Potere fonoisolante per incidenza normale e diffusa

Il potere fonoisolante per incidenza normale su parete è dato dalla legge di massa:

$$R_0 = 20 \log \sigma + 20 \log f - 42.5 \qquad \sigma = \frac{MassaParete}{Sup.Parete}$$

Se inoltre il campo è diffuso si definisce il potere fonoisolante per incidanza (casuale) diffusa:

$$R_d = R_0 - 10 \log(0.23 R_0)$$

Per pareti disomogenee si fa una media pesata. Per esempio pr una parete composta da un muro, una porta ed una finestra:

$$R_{tot} = -10 \log \left[\frac{1}{S_{tot}} \left(S_m 10^{-\frac{R_m}{10}} + S_p 10^{-\frac{R_p}{10}} + S_f 10^{-\frac{R_f}{10}} \right) \right]$$