

Livelli Sonori

Pressione: $L_p = 10 \log \frac{p_{eff}^2}{p_{rif}^2} = 20 \log \frac{p_{eff}}{p_{rif}}$ $p_{eff} = 10^{\frac{L_p}{20}} \cdot p_{rif}$ dove $p_{rif} = 2 \times 10^{-5} \text{ Pa}$

Potenza: $L_W = 10 \log \frac{w}{w_{rif}}$ $w = 10^{\frac{L_W}{10}} \cdot w_{rif}$ dove $w_{rif} = 10^{-12} \text{ W}$

Intensità: $L_I = 10 \log \frac{I}{I_{rif}}$ $I = 10^{\frac{L_I}{10}} \cdot I_{rif}$ dove $I_{rif} = 10^{-12} \text{ W/m}^2$

Veloc. partic.: $L_u = 10 \log \frac{u_{eff}^2}{u_{rif}^2} = 20 \log \frac{u_{eff}}{u_{rif}}$ $u_{eff} = 10^{\frac{L_u}{20}} \cdot u_{rif}$ dove $u_{rif} = ??? \text{ m/s}$

Operazioni con i Livelli Sonori

Somma di livelli di pressione: $L_{p_{tot}} = 10 \log \left(10^{\frac{L_{p1}}{10}} + 10^{\frac{L_{p2}}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_{pn}}{10}} \right) = 10 \log \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_{pi}}{10}}$

Somma di n livelli uguali (L_1): $L_{p_{tot}} = 10 \log n + L_1$

Sottrazione di due livelli di pressione: $L_{p_{tot}} = 10 \log \left(10^{\frac{L_{p1}}{10}} - 10^{\frac{L_{p2}}{10}} \right)$

Valore noto: $10 \log(2) \approx 3$

Fenomeno Sonoro

Velocità del suono: $c = 331 + 0.6 \cdot T_c$

Densità dell'aria: $\rho = 1.29 \cdot \frac{273}{T_K}$

Relazioni ondulatorie:

$c = \frac{\lambda}{T} = \lambda f$ ma anche $c = \frac{\Delta x}{\Delta t}$

$k = \frac{2\pi}{\lambda}$ $\left[\frac{\text{rad}}{\text{m}} \right]$

$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$ $\left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right]$

Pressione Efficace

definizione: $p_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T p^2(t) dt}$

onda sinusoidale: $p_{eff} = \frac{p_{max}}{\sqrt{2}}$

onda quadra: $p_{eff} = p_{max}$

T	c	ρ	ρc	$10 \log \left(\frac{400}{\rho c} \right)$
$^{\circ}\text{C}$	$\left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$	$\left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right]$	$\left[\frac{\text{Kg}}{\text{s} \cdot \text{m}^2} \right] = [\text{rayl}]$	-
0	331	1,289	427	-0,281
5	334	1,266	423	-0,242
10	337	1,244	419	-0,203
15	340	1,222	416	-0,166
20	343	1,201	412	-0,129
25	346	1,181	409	-0,093
30	349	1,162	405	-0,059
35	352	1,143	402	-0,025
40	355	1,125	399	0,008

Impedenza Acustica

definizione: $Z(x) = \frac{p(x,t)}{u(x,t)}$ $\left[\frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^3} \right] = [\text{rayl}]$

onde piane: $Z(x) = \rho \cdot c$ è costante in ogni punto se il mezzo è omogeneo

Intensità e Potenza Sonora

definizione:
$$\bar{I}(x,t) = p(x,t) \cdot \bar{u}(x,t) = \frac{W}{S} \quad \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

onde piane:
$$I_p(x,t) = \frac{p^2(x,t)}{\rho \cdot c}$$

Intensità Media per onde piane:
$$\tilde{I}_p = \frac{1}{T} \int_0^T I_p(x,t) dt = \frac{p_{eff}^2}{\rho \cdot c} = \frac{\tilde{W}}{S}$$

Potenza Media per onde piane:
$$\tilde{W} = \frac{p_{eff}^2}{\rho \cdot c} S \quad [W]$$

Densità di Energia Sonora:
$$D = \frac{\tilde{I}}{c} = \frac{p_{eff}^2}{\rho \cdot c^2} \quad \left[\frac{J}{m^3} \right]$$

Onde Sferiche

Impedenza Acustica onde sferiche:
$$Z(r) = \frac{p(r,t)}{u(r,t)} = \rho c \left(\frac{k^2 r^2}{1 + k^2 r^2} + i \frac{kr}{1 + k^2 r^2} \right)$$

$r \rightarrow \infty$ solo parte reale (resistenza, R): $\Rightarrow Z(r) \approx \rho \cdot c$

$r \rightarrow 0$ solo parte immaginaria (reattanza, X)

L'impedenza è funzione della distanza:

CAMPO LONTANO (solo parte reale): $kr \gg 1 \quad \Rightarrow \quad kr > 10 \quad \Rightarrow \quad r > \frac{10}{2\pi} \lambda \approx 1.6\lambda$

CAMPO VICINO (solo parte imm.): $kr \ll 1 \quad \Rightarrow \quad kr < 10 \quad \Rightarrow \quad r < \frac{10}{2\pi} \lambda \approx 1.6\lambda$

Se siamo in CAMPO LONTANO, vale:

Potenza Media per onde sferiche:
$$\tilde{W} = \frac{p_{eff}^2}{\rho \cdot c} 4\pi r^2$$

Intensità Media per onde sferiche:
$$\tilde{I}_s = \tilde{I}_p = \frac{p_{eff}^2}{\rho \cdot c} = \frac{\tilde{W}}{4\pi r^2}$$

Relazioni tra livelli sonori:

in CAMPO LIBERO:
$$L_I \approx L_W - 11 - 20 \log \left(\frac{r}{r_0} \right) \quad \text{con } r_0 = 1m$$

in CAMPO LONTANO:
$$L_I = L_p + 10 \log \left(\frac{(\rho c)_{rif}}{\rho c} \right) \quad \text{con } (\rho c)_{rif} = 400 rayl$$

e quindi approssimando:
$$L_p \approx L_I = L_W - 20 \log \left(\frac{r}{r_0} \right) - 11 \quad \text{si può trascurare } 10 \log \left(\frac{(\rho c)_{rif}}{\rho c} \right)$$

Onde cilindriche

$$\tilde{I} = \frac{\tilde{W}}{2\pi r L} \quad \Rightarrow \quad L_I = L_W - 10 \log \left(\frac{r}{r_0} \right) - 10 \log \left(\frac{L}{L_0} \right) - 8$$

Analisi in Frequenza

$$\Delta f = f_s - f_i \quad \text{Larghezza di banda}$$

$$f_s = 2^{\frac{1}{n}} f_i \quad f_s \text{ freq. superiore e } f_i \text{ freq. inferiore.}$$

$$f_n = \sqrt[n]{f_s \cdot f_i} \quad \text{frequenza di centro banda}$$

Relazioni tra f_n, f_s, f_i e Δf :

n=n	n=1	n=3
$f_n = 2^{\frac{1}{2n}} f_i \Rightarrow f_i = 2^{-\frac{1}{2n}} f_n$	$f_n = \sqrt{2} f_i \Rightarrow f_i = \frac{1}{\sqrt{2}} f_n$	$f_n = 2^{\frac{1}{6}} f_i \Rightarrow f_i = 2^{-\frac{1}{6}} f_n$
$f_n = 2^{-\frac{1}{2n}} f_s \Rightarrow f_s = 2^{\frac{1}{2n}} f_n$	$f_n = \frac{1}{\sqrt{2}} f_s \Rightarrow f_s = \sqrt{2} f_n$	$f_n = 2^{-\frac{1}{6}} f_s \Rightarrow f_s = 2^{\frac{1}{6}} f_n$
$\Delta f = f_n \left(2^{\frac{1}{2n}} - 2^{-\frac{1}{2n}} \right)$	$\Delta f = \frac{1}{\sqrt{2}} f_n = f_i \approx f_n \cdot 0.71$	$\Delta f = f_n \left(2^{\frac{1}{6}} - 2^{-\frac{1}{6}} \right) \approx f_n \cdot 0.23$

Operazioni con Livelli Sonori nelle Bande:

- il Livello Sonoro Complessivo è dato dalla somma logaritmica dei livelli sonori delle bande:

$$L_{P_{tot}} = 10 \log \left(10^{\frac{L_{PB1}}{10}} + 10^{\frac{L_{PB2}}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_{PBn}}{10}} \right) = 10 \log \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_{PB_i}}{10}}$$

- il Livello Spettrale di un rumore è il Livello Sonoro di un filtro largo 1Hz:

$$L_{P_{tot}} = L_{1Hz} + 10 \log \Delta f$$

RUMORE BIANCO - con il Livello Spettrale di un **rumore bianco** si possono ricavare i Livelli di Banda e il Livello Complessivo tenendo conto che:

- per 1/1 d'ottava il livello cresce di 3dB per banda, la potenza in W raddoppia
- per 1/3 d'ottava il livello cresce di 1dB per banda

$$L_{W(\Delta f)} = L_{W(1Hz)} + 10 \log \Delta f$$

- per ottenere il livello di una banda moltiplico il livello di 1 Hz per tutti gli Hz che contiene la banda

RUMORE ROSA - per il **rumore rosa** vale invece questa relazione:

$$L_{P_{tot}} = L_B + 10 \log n_B \quad \text{dove } L_B \text{ è il livello di una banda e } n_B \text{ è il numero di bande del filtro.}$$

- Il livello di una banda di un filtro a 1/1 d'ottava si ricava facendo la somma logaritmica dei livelli delle bande di un filtro a 1/n che sono contenute nella banda del filtro a 1/1.

Filtri di pesatura

- Tutti i filtri (A), (B), (C), (D) quando vengono aggiunti basta sottrarli algebricamente ai livelli in dB.
- Per trovare il livello in pesatura (A) basta ricalcolare i livelli delle bande con il filtro (A) e poi fare normalmente la somma logaritmica dei livelli.
- I filtri se sono espressi in bande di 1/3 d'ottava valgono anche per le bande di 1/1 d'ottava.

Bande 1/1 ottava				Bande 1/3 ottava				Curve di Pesatura			
f_n	f_i	f_s	Δf	f_n	f_i	f_s	Δf	(A)	(B)	(C)	(D)
16	11	22	11	12,5	11,2	14,1	2,9	-63,4	-33,2	-11,2	-25,0
				16	14,1	17,8	3,7	-56,7	-28,5	-8,5	-22,0
				20	17,8	22,4	4,6	-50,5	-24,2	-6,2	-20,0
31,5	22	44	22	25	22,4	28,2	5,8	-44,7	-20,4	-4,4	-18,0
				31,5	28,2	35,5	7,3	-39,4	-17,1	-3,0	-17,0
				40	35,5	44,7	9,2	-34,6	-14,2	-2,0	-13,5
63	44	88	44	50	44,7	56,2	11,5	-30,2	-11,6	-1,3	-12,8
				63	56,2	70,8	14,6	-26,2	-9,3	-0,8	-10,9
				80	70,8	89,1	18,3	-22,5	-7,4	-0,5	-9,0
125	88	177	88	100	89,1	112	22,9	-19,1	-5,6	-0,3	-7,2
				125	112	141	29	-16,1	-4,2	-0,2	-6,5
				160	141	178	37	-13,4	-3,0	-0,1	-4,0
250	177	355	177	200	178	224	46	-10,9	-2,0	0	-2,6
				250	224	282	58	-8,6	-1,3	0	-1,6
				315	282	355	73	-6,6	-0,8	0	-0,8
500	355	710	355	400	355	447	92	-4,8	-0,5	0	-0,4
				500	447	562	115	-3,2	-0,3	0	-0,3
				630	562	708	146	-1,9	-0,1	0	-0,5
1000	710	1420	710	800	708	891	183	-0,8	0	0	-0,6
				1000	891	1122	231	0	0	0	0
				1250	1122	1413	291	0,6	0	0	2,0
2000	1420	2840	1420	1600	1413	1778	365	1,0	0	-0,1	4,9
				2000	1778	2239	461	1,2	-0,1	-0,2	7,9
				2500	2239	2818	579	1,3	-0,2	-0,3	10,6
4000	2840	5680	2840	3150	2818	3548	730	1,2	-0,4	-0,5	11,5
				4000	3548	4467	919	1,0	-0,7	-0,8	11,1
				5000	4467	5623	1156	0,5	-1,2	-1,3	9,6
8000	5680	11360	5680	6300	5623	7079	1456	-0,1	-1,9	-2,0	7,6
				8000	7079	8913	1834	-1,1	-2,9	-3,0	5,5
				10000	8913	11220	2307	-2,5	-4,3	-4,4	3,4
16000	11360	22720	11360	12500	11220	14130	2910	-4,3	-6,1	-6,2	-1,4
				16000	14130	17780	3650	-6,6	-8,4	-8,5	-3,0
				20000	17780	22390	4610	-9,3	-11,1	-11,2	-6,0

Curve Isofoniche

Rappresentano al variare della frequenza i livelli di pressione sonora in grado di produrre la stessa sensazione sonora.

Livello di Sensazione Sonora: phon

Ciascuna curva è caratterizzata da un valore di *livello di sensazione sonora* espresso in **phon**, numericamente uguale al valore di pressione sonora espressa in dB del suono a 1000 Hz che ha prodotto la sensazione sonora.

Scala di Sensazione Sonora: son

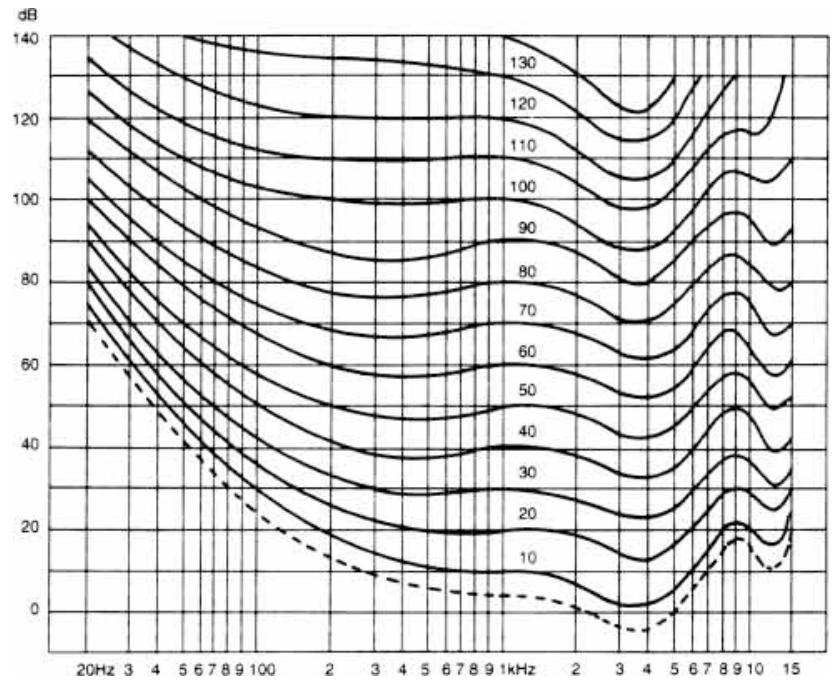
la relazione tra la sensazione sonora e il livello di sensazione è così espressa:

$$S = 2^{\frac{P-40}{10}}$$

Un son ha il significato di sensazione

prodotta da un tono puro a 1000 Hz, avente un livello di sensazione di 40 phon, cioè un livello di pressione sonora di 40 dB.

ESEMPIO: per i 3dB differenziali avremo un valore in son di: $S = 2^{\frac{43-40}{10}} = 1,2 \text{ son}$



Propagazione del suono in ambiente esterno

$$L_p = L_w - 20 \log \frac{r}{r_0} - 10 \log \frac{400}{\rho c} - 11 - A_a - A_p - A_n + D - \Delta L$$

$$A_a : \text{assorbimento dell'aria (dipende dall'umidità): } A_a = 7.4 \frac{f^2 \cdot r}{\phi} \times 10^{-8} \quad (dB)$$

r in km, f in Hz e ϕ è la % di umidità dell'aria

(NB: l'umidità elevata smorza le freq. inferiori a 2000 Hz ma lascia intatte quelle sopra, e viceversa)

A_p : assorbimento dovuto alle piante e alla vegetazione (non quantificabile, ma incide poco)

A_n : assorbimento dovuto agli effetti meteorologici: al vento e all'inversione termica.

- Se il gradiente di T è positivo (temp terra minore di aria) --> le onde scendono

- Se il gradiente di T è negativo (temp terra maggiore di aria) --> le onde salgono (zona d'ombra)

$$D : \text{indice di direttività} \quad D = 10 \log Q_\theta \quad \text{dove} \quad Q_\theta = \frac{I_\theta}{I_0} = I_\theta \frac{S}{W} \quad \text{fattore di direttività}$$

$$(\text{per le onde sferiche: } S = 4\pi r^2)$$

con I_θ : intensità misurata all'angolo θ

e I_0 : intensità di una sorgente omnidirezionale

CASI:

- sorgente omnidirezionale: $Q_\theta = 1$ $D = 0dB$

- sorgente emisferica: $Q_\theta = 2$ $D = 3dB$

- sorgente un quadrante: $Q_\theta = 4$ $D = 6dB$

- sorgente un ottante: $Q_\theta = 8$ $D = 9dB$

ΔL : isolamento acustico della barriera $\Delta L = L_{p_0} - L_{p_b}$
 con L_{p_0} : livello di pressione sonora in assenza della barriera
 e L_{p_b} : livello di pressione sonora in presenza della barriera

FORMULA DI MAEKAWA (barriera infinita): $\Delta L = 10 \log(3 + 20N)$
 con $N = \frac{2\delta}{\lambda} = 2 \frac{SK + KR - SR}{\lambda}$ numero di Fresnel
 e $\delta = SK + KR - SR$ diff. di cammino

(NB. non si possono avere più di 20÷25 dB di attenuazione!)

(NB. le basse frequenze sono quelle che scavalcano più facilmente la barriera: ecco perché si usa dB(A))

FORMULA DI MAEKAWA (barriera con bordi): $\Delta L = 10 \log(3 + 20N) - 10 \log\left(1 + \frac{N}{N_1} + \frac{N}{N_2}\right)$

con N_1, N_2 : numeri di Fresnel dei bordi

che si può anche scrivere come: $\Delta L = 10 \log\left(3 + 40 \frac{\delta}{c} f\right) - 10 \log\left(1 + \frac{\delta}{\delta_1} + \frac{\delta}{\delta_2}\right)$

con δ_1, δ_2 : relativi ai bordi

(NB. per ridurre l'influenza della diffrazione laterale occorre che la larghezza della barriera sia almeno uguale a 4÷5 volte la sua altezza effettiva, oppure se è maggiore di 16λ circa)

(NB. per una sorgente cilindrica la barriera attenua 5dB in meno, il che vuol dire che se l'ascoltatore "vede" la sorgente nel caso dell'onda sferica ho attenuazione seppur minima (teoricamente di 5dB), nel caso dell'onda cilindrica non ho attenuazione)

Formule per i livelli di pressione in ambiente esterno:

Sorgente generica: $L_p = L_w - 10 \log \frac{400}{\rho c} - 10 \log S - A + D - \Delta L$ S : è la superficie

Sorgente sferica: $L_p = L_w - 10 \log \frac{400}{\rho c} - 20 \log r - 11 - A + D - \Delta L$

Sorgente cilindrica: $L_p = L_w - 10 \log \frac{400}{\rho c} - 10 \log r - 10 \log L - 8 - A + D - \Delta L$

oppure potenza al metro cilindrico: $L_p = L_{w_{1m}} - 10 \log \frac{400}{\rho c} - 10 \log r - 8 - A + D - \Delta L$

Fenomeni di riflessione, assorbimento e trasmissione

$1 = r + \delta + \tau$ con r : coeff. riflessione
 δ : coeff. assorbimento

$\alpha = 1 - r = \delta + \tau$ τ : coeff. trasmissione $\tau = 10^{-R/10}$ $R = 10 \log \frac{1}{\tau}$

SORGENTI IMMAGINE

- posta dietro superficie con coeff. di riflessione r : $L_{w_{si}} = 10 \log \frac{r \cdot w}{w_0} = L_w + 10 \log r$

- Formula generale per sorgenti immagini sferiche:

$L_p = L_w - 10 \log \frac{400}{\rho c} + 10 \log(1 - \alpha) - 20 \log r - 11 - A + D - \Delta L$

LEGGES DI MASSA: $\omega \gg \omega_r$ $R = 10 \log \left(\frac{m\omega \cos \theta_1}{2z_1} \right)^2 \approx 20 \log \left(\frac{m2\pi f \cos \theta_1}{409} \right) [@25^\circ C]$

FREQUENZA DI COINCIDENZA: $f_c = \frac{c_0^2}{1.8hc_1 \sin^2 \theta_1}$ h è in m, c_1 e c_0 sono vel del suono

Ambienti chiusi

CAMPO RIVERBERANTE: $L_p = L_w + 10 \log \frac{4}{A} \Rightarrow A = \frac{4}{10^{\frac{L_p - L_w}{10}}}$ e $\bar{\alpha} = \frac{A}{S} = \frac{4}{S \cdot 10^{\frac{L_p - L_w}{10}}}$

CAMPO SEMIRIVERBERANTE: $L_p = L_w + 10 \log \left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right)$

distanza critica: $\frac{Q}{4\pi r^2} = \frac{4}{R} \Rightarrow r = \sqrt{\frac{QR}{16\pi}}$

EQUAZIONE DI SABINE: $RT60 = \frac{0.161 \cdot V}{A} \Rightarrow RT60 = \frac{0.161 \cdot V}{4} \cdot 10^{\frac{L_p - L_w}{10}}$

correzione dell'aria: $RT60 = \frac{0.161 \cdot V}{\bar{\alpha}S + 4\beta V}$

Formule relative all'assorbimento

$$A_{con} = \bar{\alpha} \cdot (S_{tot} - S_p) + A_p$$

$$S_p = \frac{A_{con} - A_{senza}}{\alpha_p - \bar{\alpha}}$$

$$R = 10 \log \frac{1}{\tau} = 10 \log \frac{1}{\alpha - \delta} = \frac{\bar{\alpha} \cdot S}{1 - \bar{\alpha}} = \frac{S \cdot A}{S - A}$$

Potere fonoisolante di una parete (EN-ISO 140-3):

$$L_{p2} = L_{p1} - R + 10 \log \frac{S_p}{A_2}$$

Potenza della sorgente equiv. posta all'interno di un ambiente rumoroso (Pr EN 12354-4):

$$L_{w'} = L_{p1} - R + 10 \log \frac{S_p}{S_0} - 6 \quad \text{la sorgente equiv. è posta a 1m dalla facciata}$$

Isolamento acustico tra campo sonoro esterno e campo acustico riverberante (EN-ISO 140-5) e livello di p. sonora all'interno di un ambiente provocato da campo acustico esterno (EN 12354-3):

$$L_{p1} = L_{pfuori} - R + 10 \log \frac{S_p}{A_1} + 6 + 10 \log(\cos \theta) \quad \text{onde piane inclinate di } \theta \text{ dalla normale alla superficie}$$

Fonometria

LIVELLO EQUIVALENTE:
$$L_{eq} = 10 \log \left(\frac{1}{(t_2 - t_1)} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p_{RMS}^2}{p_0^2} dt \right) = 10 \log \left(\frac{\sum_i t_i \cdot 10^{\frac{L_{eq_i}}{10}}}{t_{tot}} \right)$$

SINGLE EVENT LEVEL:
$$SEL = 10 \log \left(\frac{1}{T_0 \cdot p_0^2} \int_{-\infty}^{+\infty} p(t)^2 dt \right)$$
 dove T_0 è il tempo di rif. pari ad 1 s

$$\Rightarrow SEL = L_{eq} + 10 \log \left[\frac{T}{T_0} \right]$$

La costante di tempo FAST, SLOW, IMPULSE non ha effetto su L_{eq} e SEL ma ne ha sui massimi e minimi:

$$L_{A,F \max} \geq L_{A,S \max} \quad \text{e} \quad L_{A,F \min} \leq L_{A,S \min}$$

Curva Statistica Distributiva: la rappresentazione prevede una suddivisione dei livelli in classi opportune: se per una data classe si legge in ordinata il valore 20 significa che per il 20% del tempo il rumore ha assunto un livello in dB contenuto entro la classe.

Curva Statistica Cumulativa: rappresenta la percentuale di tempo in ordinata e un livello di rumore in ascissa: per un livello X è indicata la percentuale di tempo in cui tale livello è stato superato.

LIVELLI PERCENTILI: Vengono definiti sulla curva statistica cumulativa e rappresentano i livelli superati per una certa percentuale di tempo. Ad esempio L_{90} indica il livello che si è superato per il 90% del tempo.

Per la misura dei livelli percentili lo strumento ha bisogno di un settaggio **FAST** della costante di tempo.

Verifica della componente impulsiva (D.M. 16-3-98)

Il rumore è considerato avere componenti impulsive quando sono verificate le condizioni seguenti:

1. L'evento è ripetitivo (10 volte/ora nel diurno; 2 volte/ora nel notturno)
2. $L_{A,I \max} - L_{A,S \max} > 6dB$
3. La durata dell'evento a -10 dB dal fattore $L_{A,F \max}$ è inferiore a 1s.

(si prende il valore di picco dell' $L_{A,F \max}$ e si sceglie come l'istante dell'impulso, si crea la finestra temporale dell'impulso per il quale si ha una variazione di 10 dB e si verifica che sia inferiore a 1s)

Se tutte e tre le condizioni fossero valide si applicherebbe la penalizzazione di 3 dB(A).

Verifica della componente tonale (D.M. 16-3-98)

1. Il rumore è considerato avere componenti tonali quando viene riconosciuta una singola banda di 1/3 d'ottava il cui livello superi di almeno 5dB il livello delle due bande adiacenti. Lo spettro di riferimento dev'essere quello del LIVELLO MINIMO con costante di tempo FAST.
2. Affinché si applichi la penalizzazione di 3 dB(A) è necessario che la componente tonale individuata tocchi una linea isofonica eguale o superiore a quella più elevata raggiunta dalle altre componenti dello spettro.
3. Se l'analisi in frequenza rivela la presenza di CT tali da consentire l'applicazione del fattore correttivo K_T nell'intervallo di frequenze 20 ÷ 200 Hz, si applica anche la correzione K_B , esclusivamente nel tempo di riferimento notturno. Anche qui la penalizzazione è di 3 dB(A).

Microfoni

	Mic da campo libero	Mic da campo diffuso
ambiente chiuso riverberante	Sottostima del livello. Bisogna applicare la correzione elettrica "random" che alcuni fonometri hanno.	OK! L'orientamento del microfono è indifferente.
campo libero	OK! Dev'essere orientato verso la sorgente.	Sovrastima del livello. Va orientato di 70°-90° rispetto alla sorgente.

Sotto i 1000-2000 Hz i microfoni sono omnidirezionali, dai 2000-5000 Hz in su cominciano ad essere importanti gli effetti sopra esposti.

Misura della potenza sonora (ISO 3744, ISO 3746)

ISO 3744

- La macchina deve essere appoggiata ad un piano riflettente
- Campo essenzialmente libero (eventuali superfici riflettenti poste a notevole distanza dalla macchina)
- I punti di misura devono essere almeno 10 nel caso di superficie semisferica e 9 nel caso di superficie parallelepipedica (al centro delle superfici e ai vertici).
- L'accuratezza di misura è pari a quella di un metodo ingegneristico (grado 2)
- La riproducibilità dei risultati è esprimibile con una deviazione standard non superiore a 1.5 dB sul valore globale di potenza sonora espressa in dB(A).

$$L_W = L_{p_m} + 10 \log(S / S_0) - K_1 - K_2 \quad \text{dove:}$$

$$L_{p_m} = 10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_{p_i}}{10}} \right) \quad \text{è il livello medio di pressione sonora sulla superficie di misura}$$

$$\text{SEMISFERA (10p):} \quad L_{p_m} = 10 \log \left(\frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} 10^{\frac{L_{p_i}}{10}} \right) \quad S_{\text{semisfera}} = 2\pi r^2$$

$$\text{PARALLELEPIPEDO (9p):} \quad L_{p_m} = 10 \log \left(\frac{1}{9} \sum_{i=1}^9 10^{\frac{L_{p_i}}{10}} \right)$$

S è la superficie di misura

$$K_1 = -10 \log \left(1 - 10^{-\frac{\Delta L}{10}} \right) \quad \text{è la correzione dovuta al rumore residuo, e } \Delta L = L_{p_m} - L_{\text{residuo}}$$

$$\text{Se } \Delta L > 15 \text{ dB} \Rightarrow K_1 = 0 .$$

Se $\Delta L < 6 \text{ dB} \Rightarrow$ l'accuratezza di misura non raggiunge quella della norma stessa (classe 2).

$$K_2 = 10 \log \left(1 + 4 \frac{S}{A} \right) \quad \text{è la correzione ambientale: esprime l'incremento del livello sonoro medio sulla}$$

superficie di misura S dovuto alle riflessioni ambientali.

Per la validità delle misure in ogni banda $K_2 < 2 \text{ dB}$.

Nel caso delle misure all'aperto $K_2 = 0$.

ISO 3746

È molto simile alla ISO 3744 ma consente di effettuare la misura del livello di potenza globale pesato A anche in ambienti moderatamente riverberanti e con rumori di fondo più elevati.

- L'accuratezza di misura è pari a quella di un metodo di controllo (grado 3).
- La riproducibilità dei risultati è esprimibile con una deviazione standard compresa tra 3 e 5 dB a seconda del valore di K_2 e del tipo di spettro emesso dalla macchina.

- Minori punti di misura (4 per la sfera, 5 per parallelepipedo, al centro delle facce).

- Minori restrizioni sul rumore di fondo:

$$\text{Se } \Delta L > 10 \text{ dB} \Rightarrow K_1 = 0$$

Se $\Delta L < 3 \text{ dB} \Rightarrow$ l'accuratezza di misura non raggiunge quella della norma stessa (classe 3).

- Minori restrizioni sull'ambiente di prova:

Per la validità delle misure in ogni banda $K_2 < 7 \text{ dB}$.

$$\text{SEMISFERA (4p):} \quad L_{p_m} = 10 \log \left(\frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 10^{\frac{L_{p_i}}{10}} \right) \quad S_{\text{semisfera}} = 2\pi r^2$$

$$\text{PARALLELEPIPEDO (5p):} \quad L_{p_m} = 10 \log \left(\frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 10^{\frac{L_{p_i}}{10}} \right)$$

Intensimetria e misura della potenza sonora con la tecnica intensimetrica

ISO 9614

Si utilizza l'intensimetria per ridurre l'incertezza della misura della potenza. Il livello di pressione sonora, che è alla base di tutti gli altri metodi di misura, infatti è fortemente influenzato dalle caratteristiche della sorgente, dalle caratteristiche dell'ambiente e dalla posizione dei punti di misura.

- Le misure possono essere effettuate in un ambiente qualsiasi.
- È possibile determinare la potenza sonora anche in presenza di rumore di fondo (purché sia costante e generato da sorgenti poste all'esterno della superficie di misura).
- È possibile eseguire la misura di potenza di parti di macchina.
- la ISO 9614-1 prevede il calcolo di 4 indicatori di campo, mentre la ISO 9614-2 ne prevede soltanto 2.

$$L_w = 10 \log \frac{W}{W_0} = 10 \log \frac{\sum_i I_i S_i}{I_0 S_0} = 10 \log \sum_i \left(\frac{I_i S_i}{I_0 S_0} \right) = 10 \log \sum_i \left(10^{\frac{L_i}{10}} \frac{S_i}{S_0} \right)$$

Quindi si calcolano tutte le superfici, e con le misure di intensità sulle superfici si può ottenere la potenza.