

SEMINARIO TECNICO

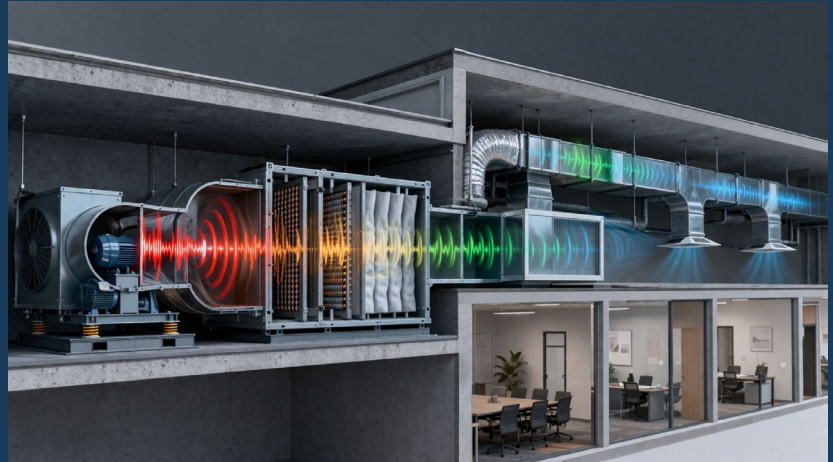
Propagazione ed attenuazione del rumore in una rete HVAC

Fondamentali di Acustica e Propagazione del Suono. Standard Tecnico Legislativi

Ing. Giovanni Rossi
Tecnico Competente in Acustica
Iscrizione n.12675 ENTECA

Commissione Acustica

Roma, 19/05/2026



Sommario

Indice degli argomenti

<u>01</u> <u>Il Suono: Onde e Frequenza</u>	<u>3</u>	<u>07</u> <u>Riverberazione e Campo Chiuso</u>	<u>30</u>
<u>02</u> <u>Spettri e Tipi di Rumore</u>	<u>7</u>	<u>08</u> <u>Isolamento e Fonoisolamento</u>	<u>35</u>
<u>03</u> <u>Decibel e Livelli Sonori</u>	<u>11</u>	<u>09</u> <u>Rumore degli Impianti</u>	<u>39</u>
<u>04</u> <u>La Misura del Rumore</u>	<u>17</u>	<u>10</u> <u>Normativa Acustica</u>	<u>40</u>
<u>05</u> <u>Sorgenti e Propagazione</u>	<u>21</u>	<u>11</u> <u>Norme UNI di Misura</u>	<u>45</u>
<u>06</u> <u>Barriere e Assorbimento</u>	<u>27</u>	<u>12</u> <u>Confronto e Aspetti Operativi</u>	<u>50</u>

Il Suono: Caratteristiche Fisiche

Onde di pressione, grandezze e velocità di propagazione

Che cosa è un suono?

Il suono è generato dalla **variazione di pressione** in un mezzo materiale (fluido o solido) che si propaga **senza trasporto di materia**.

Grandezze fondamentali:

Frequenza (f) — oscillazioni/s [Hz]. La nota 'la': 440 Hz

Lunghezza d'onda (λ) — distanza tra due massimi [m]

Ampiezza (Δp_0) — max variazione pressione [Pa]

Velocità (v) — dipende dal mezzo e dalla T [m/s]

Campo udibile: 20 μ Pa (soglia udibilità) \rightarrow 20 Pa (soglia dolore)

Rapporto 1:10⁶ in pressione, 1:10¹² in intensità.

L'orecchio umano percepisce frequenze tra **20 Hz e 20 kHz**.

Velocità del suono in aria

$$c_0 = \sqrt{\gamma \cdot R \cdot T}$$

$$\gamma = 1.41$$

$$R = 287 \text{ (J / kgK)}$$

$$T = t + 273 \text{ (K)}$$

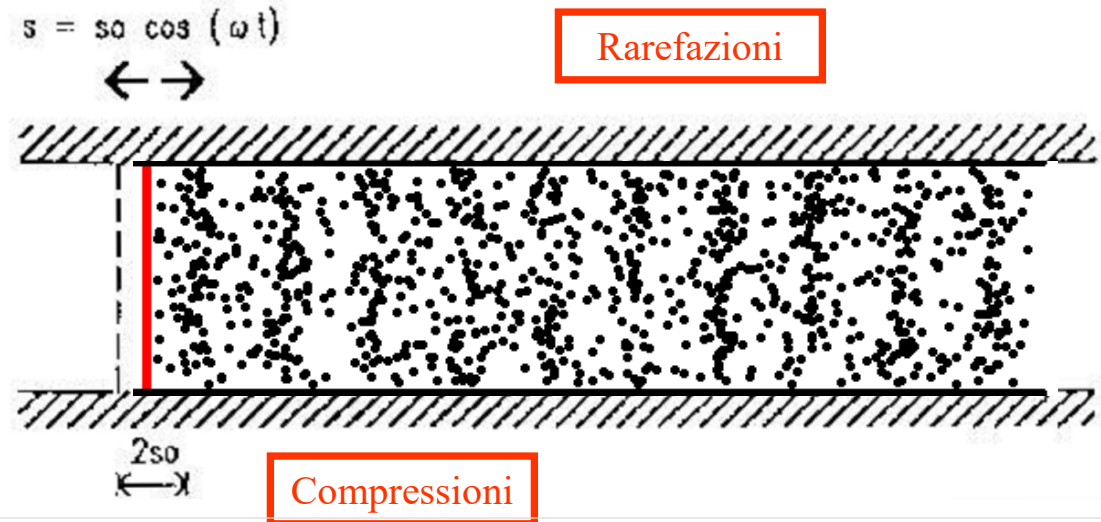
$$c_0 = 331.4 + 0.6t \text{ (m/s)}$$

Materiale	Velocità del suono (m/s)	Velocità del suono normalizzata
Aria (20 °C)	343	1
Acqua (13 °C)	1441	4,2
Mattoni	3000	8,7
Vetro	5200	15,2
Legno	3400	9,9
Cemento armato	3400	9,9
Piombo	1220	3,6
Acciaio	5200	15,2
Cartongesso	6800	19,8

Fenomeno sonoro: generalità

Il fenomeno sonoro è caratterizzato dalla propagazione di energia meccanica dovuta al rapido succedersi di compressioni ed espansioni di un **mezzo elastico**; tale energia, che ha origine in una **sorgente sonora**, si propaga nel mezzo stesso per onde con velocità finita. Perché il fenomeno nasca e si propaghi occorre dunque che esista:

- una “**sorgente sonora**”
- un “**mezzo elastico**”

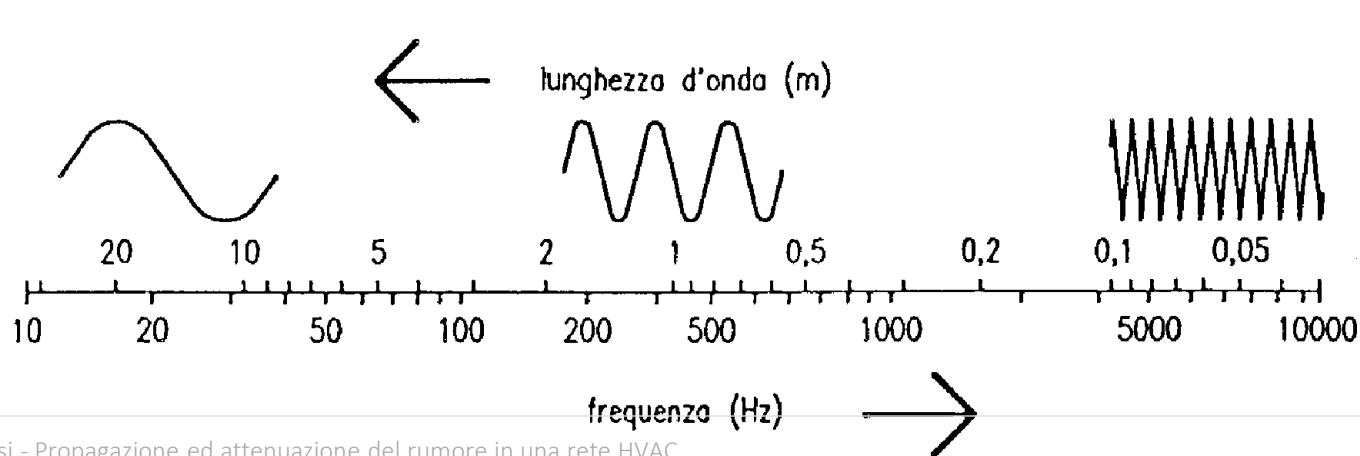


Legame frequenza-lunghezza d'onda

Legame lunghezza d'onda - frequenza

$$\lambda = v / f$$

All'aumentare della frequenza si riduce la lunghezza d'onda della perturbazione sonora



Analisi a banda percentuale costante

Analisi a banda percentuale costante

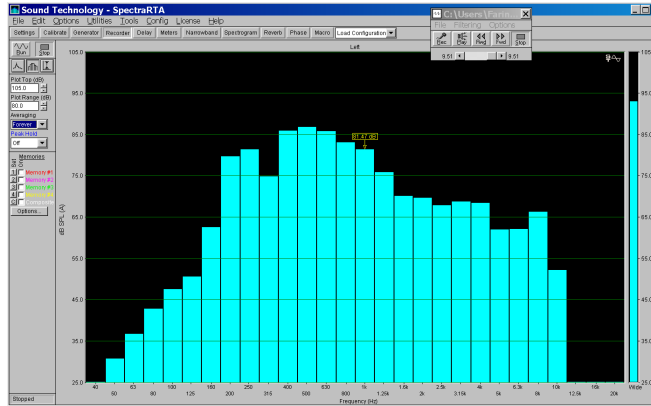
- se la larghezza di banda Δf è una percentuale costante del valore della **frequenza nominale** che caratterizza la banda stessa: $f_c = \sqrt{f_s \cdot f_i}$

- $\frac{\Delta f}{f_c} = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0.707$ $f_s = 2 f_i$ 1/1 ottava
- $\frac{\Delta f}{f_c} = 0.232$ $f_s = 2^{1/3} f_i$ 1/3 ottava

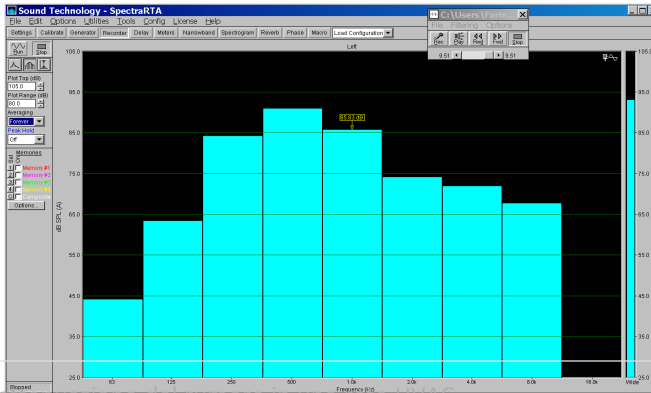
Tipicamente impiegata per misure acustiche. Possono essere usati “banchi” di 10 filtri (ottave) o 30 filtri (terzi), ottenuti con circuiti analogici o digitali (filtri IIR)

Spettri in ottava e 1/3 di ottava:

- Bande di 1/3 ottava



- Bande di 1/1 ottava



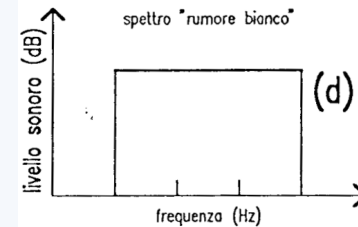
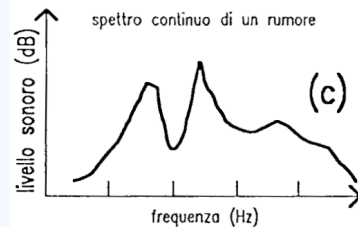
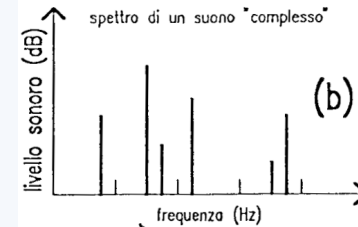
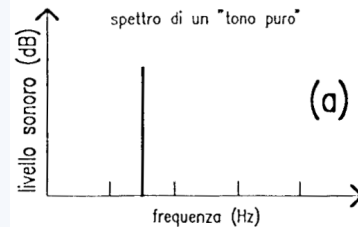
Bande di 1/1 ottava			Bande di 1/3 ottava		
Frequenza limite inferiore	Frequenza di centro banda	Frequenza limite superiore	Frequenza limite inferiore	Frequenza di centro banda	Frequenza limite superiore
11	16	22	14,1	16	17,8
			17,8	20	22,4
			22,4	25	28,2
22	31,5	44	28,2	31,5	35,5
			35,5	40	44,7
			44,7	50	56,2
44	63	88	56,2	63	70,8
			70,8	80	89,1
			89,1	100	112
88	125	177	112	125	141
			141	160	178
			178	200	224
177	250	355	224	250	282
			282	315	355
			355	400	447
355	500	710	447	500	562
			562	630	708
			708	800	891
			891	1000	1122
			1122	1250	1413
			1413	1600	1778
1420	2000	2840	1778	2000	2239
			2239	2500	2818
			2818	3150	3548
2840	4000	5680	3548	4000	4467
			4467	5000	5623
			5623	6300	7079
5680	8000	11360	7079	8000	8913
			8913	10000	11220
			11220	12500	14130
11360	16000	22720	14130	16000	17780
			17780	20000	22390

Composizione & analisi in frequenza

Lo **spettro** di un segnale sonoro è la rappresentazione della sua composizione in frequenza su un diagramma energia-frequenza, o livello sonoro-frequenza.

In genere le perturbazioni sonore sono segnali complessi costituiti da un gran numero di frequenze che in alcuni casi possono dare origine ad uno *spettro* continuo.

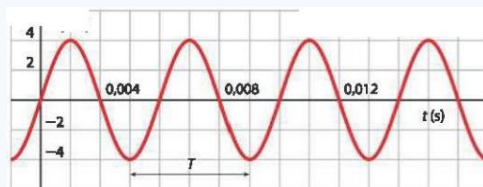
- a) Tono puro
- b) Suono "complesso"
- c) Spettro "Continuo"
- d) "Rumore bianco"



Suoni Puri, Complessi e Rumore

Forme d'onda, spettri e classificazione dei segnali acustici

Suono Puro



Una sola frequenza

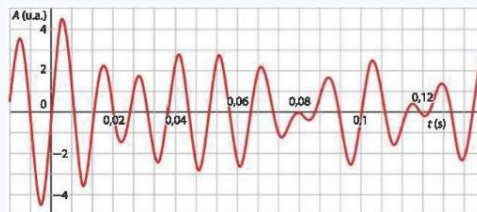
Spettro: singola riga

Es: diapason (440 Hz)

Ampiezza efficace:

$$\Delta p_{eff} = \Delta p_o / \sqrt{2}$$

Suono Complesso



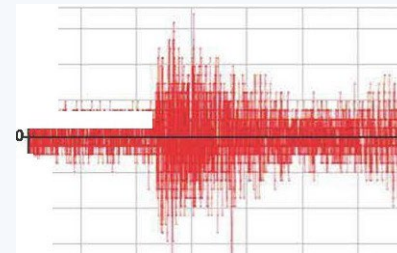
Numero finito di frequenze

Spettro: righe discrete

Es: strumenti musicali

Ogni componente ha la propria ampiezza e fase

Rumore



Infinito continuo di freq.

Spettro: continuo, casuale

Es: traffico, macchinari

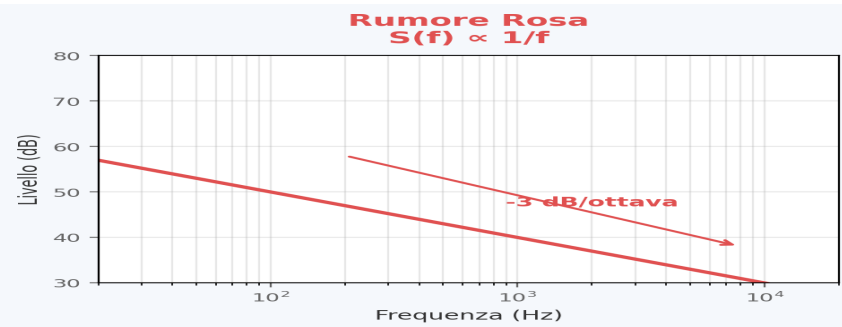
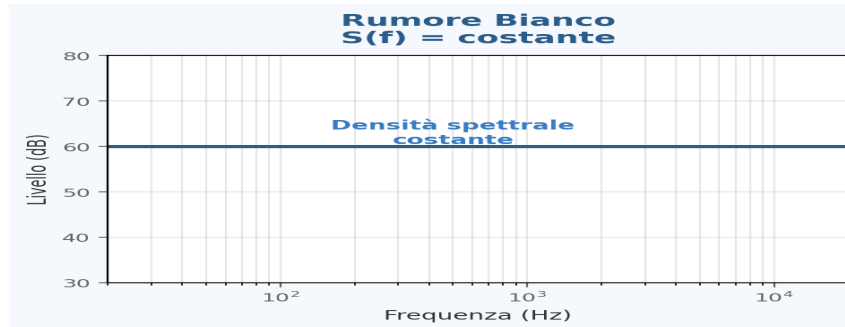
Bianco: tutte le freq. uguali

Rosa: -3 dB/ottava

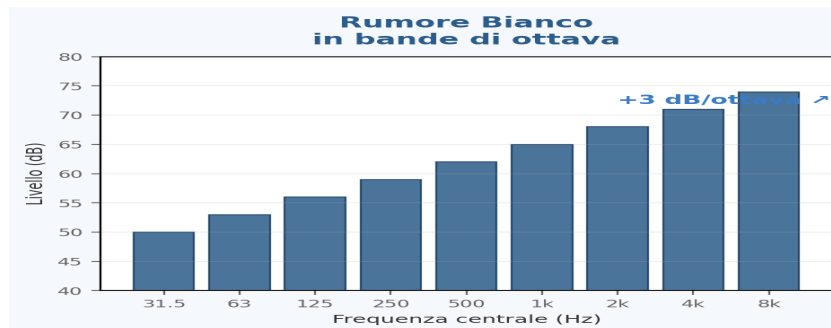
Rumore Bianco e Rumore Rosa

Densità spettrale, formule e confronto tra i due rumori di riferimento

Densità spettrale di potenza — Bianco: $S(f) = N_0/2 = \text{cost.}$ Rosa: $S(f) = N_0/(2f) \propto 1/f$



Livello in bande di ottava — Bianco: +3 dB/ottava Rosa: costante per ottava



Il Decibel e i Livelli Sonori

La scala logaritmica per comprimere il campo di variabilità dell'udito

Perché il decibel?

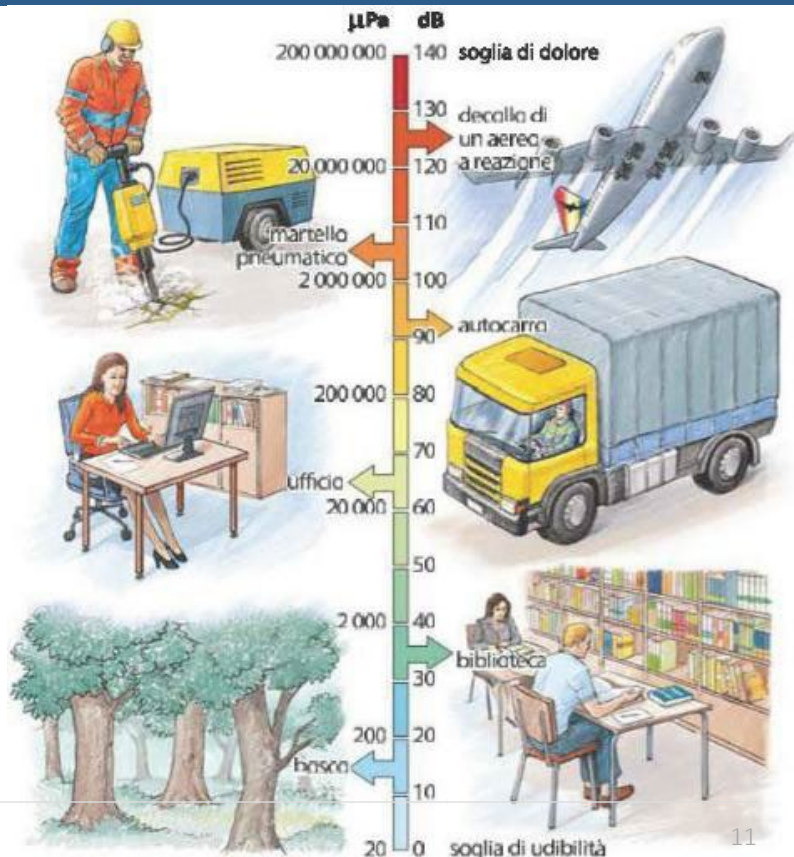
L'orecchio risponde in modo **logaritmico**. Il campo di pressioni udibili copre 6 ordini di grandezza (10^6) — impossibile da gestire su scala lineare.

$$L^I \text{ (intensità)} = 10 \cdot \log_{10}(I / I_0) \quad I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$$

$$L^W \text{ (potenza)} = 10 \cdot \log_{10}(W / W_0) \quad W_0 = 10^{-12} \text{ W}$$

$$L_p \text{ (pressione)} = 20 \cdot \log_{10}(\Delta p / \Delta p_0) \quad \Delta p_0 = 20 \text{ } \mu\text{Pa}$$

Nota: In condizioni normali (campo libero, onda piana) $L^I = L_p$. Il fattore 20 nel livello di pressione deriva dal quadrato nella relazione $I \propto \Delta p^2$.



Esempi Pratici di Livelli Sonori

Dal calcolo alla realtà: sorgenti comuni e livelli caratteristici

Sorgente / situazione	L _p (dB)	Sensazione
Soglia di udibilità	0	Silenzio assoluto
Bosco, fruscio foglie	20	Appena percettibile
Biblioteca	30	Quiete
Ufficio tranquillo	50	Confortevole
Conversazione (1 m)	60	Normale
Strada trafficata	75	Fastidioso
Autocarro pesante	80	Molto fastidioso
Martello pneumatico	100	Dannoso se prolungato
Soglia del dolore	120	Dolore
Decollo aereo (25 m)	130	Danno immediato

Esempio: calcolo di L_p

Dato: $\Delta p = 0.2 \text{ Pa}$

$$L_p = 20 \cdot \log_{10}(0.2 / 20 \cdot 10^{-6})$$

$$= 20 \cdot \log_{10}(10^4)$$

$$= 20 \cdot 4$$

$$= \mathbf{80 \text{ dB}}$$

(equivale ad un autocarro pesante)

Relazioni utili:

+3 dB = intensità raddoppiata

+10 dB = intensità 10× (sensazione ≈ 2×)

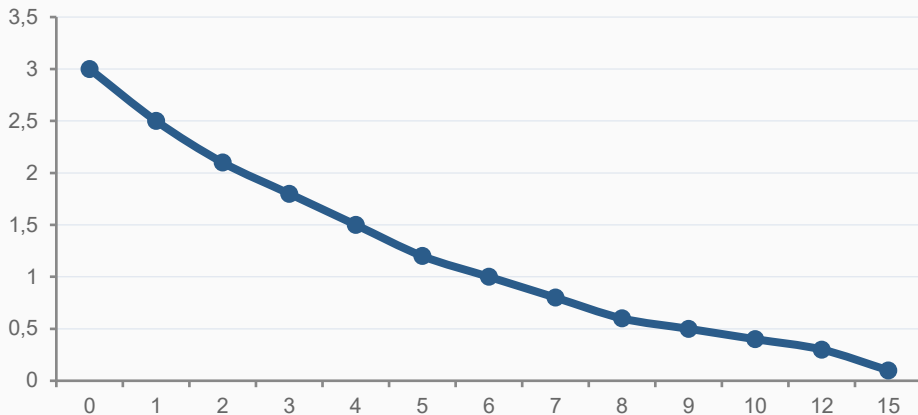
-6 dB = distanza raddoppiata

Combinazione di Livelli Sonori

Figura 11 — Somma energetica di due o più sorgenti

$$L_{tot} = 10 \cdot \log_{10} \left(\sum_i 10^{L_i/10} \right)$$

Figura 11: L_+ in funzione di $\Delta L = |L_1 - L_2|$



2 sorgenti uguali: $L_1 = L_2 = L \rightarrow L_{tot} = L + 3 \text{ dB}$ | **10 sorgenti uguali:** $L_{tot} = L + 10 \text{ dB}$



Esempio (dalla figura):

Radio stereo $L_1 = 55 \text{ dB}$

Aspirapolvere $L_2 = 60 \text{ dB}$

$\Delta L = 5 \rightarrow L_+ \approx 1.2 \text{ dB}$

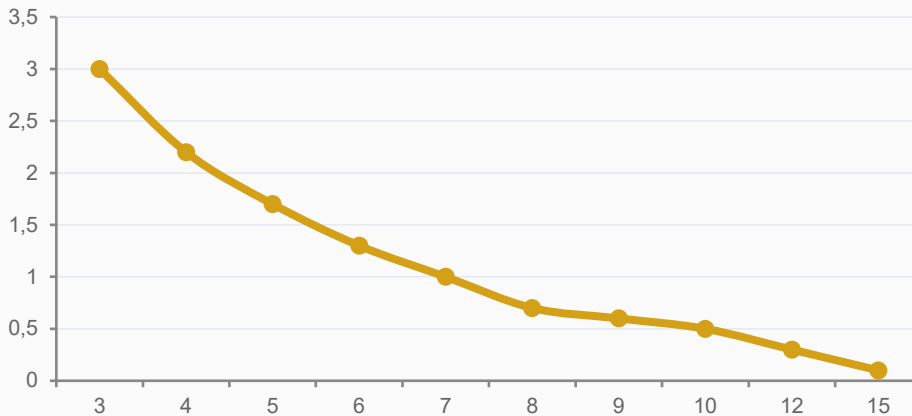
$L_{tot} = 60 + 1.2 = 61.2 \text{ dB} \neq 115 \text{ dB!}$

Sottrazione di Livelli Sonori

Figura 15 — L_2 NON è la differenza tra L_{tot} e L_1

$$L_1 = 10 \cdot \log_{10} (10^{L_{tot}/10} - 10^{L_2/10})$$

Figura 15: L_1 in funzione di $\Delta L = L_{tot} - L_2$



Attenzione: la sottrazione si può fare solo se $\Delta L \geq 3$ dB (sorgente contribuisce ≥ 3 dB al totale)



Esempio (sottrazione dal fondo):

L_{tot} (lavatrice + fondo) = 60 dB

L_2 (rumore di fondo) = 53 dB

$\Delta L = 7 \rightarrow L_1 \approx 0.97$ dB

L_1 (lavatrice) = $60 - 0.97 \approx 59$ dB

$L_1 \neq L_{tot} - L_2 = 60 - 53 = 7$ dB X

Il Livello Equivalente L_{eq}

Il livello continuo con lo stesso contenuto energetico del segnale variabile

Definizione: Il livello sonoro equivalente è quel livello continuo che, nell'intervallo di tempo ΔT , ha lo stesso contenuto energetico del segnale variabile nel tempo.

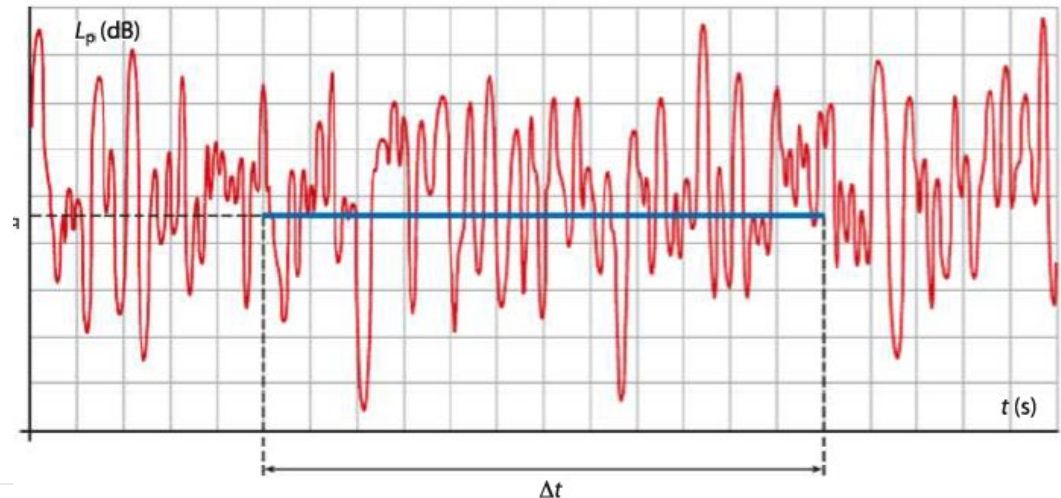
$$L_{eq, \Delta T} = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{\Delta t_1}{\Delta T} \cdot 10^{L_1/10} + \frac{\Delta t_2}{\Delta T} \cdot 10^{L_2/10} + \dots + \frac{\Delta t_n}{\Delta T} \cdot 10^{L_n/10} \right) =$$
$$= 10 \cdot \log_{10} \left(\sum_{i=1}^n \frac{\Delta t_i}{\Delta T} \cdot 10^{L_i/10} \right)$$

ΔT = intervallo totale

Δt_i = sotto-intervalli costanti

L_i = livello nel sotto-intervallo i

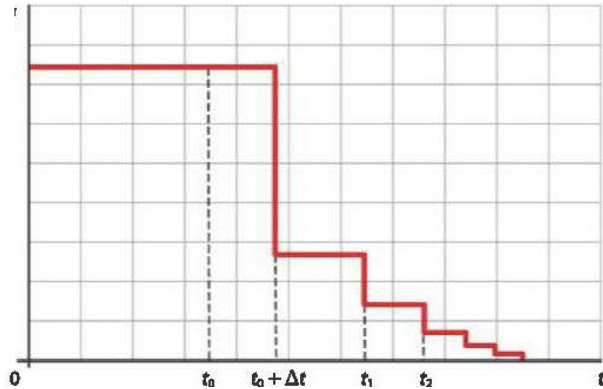
Rappresentazione grafica del L_{eq} :



L_{eq}: Esempio di Calcolo

Applicazione pratica della formula del livello equivalente

Rumore variabile a gradini:



Esempio: Operaio — giornata 8h

Fase 1: 1.5 ore a 90 dB

Fase 2: 6.5 ore a 72 dB

$$L_{eq, 8h} = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{1,5}{8} \cdot 10^{90/10} + \frac{6,5}{8} \cdot 10^{72/10} \right) = 83 \text{ dB}$$

Risultato:

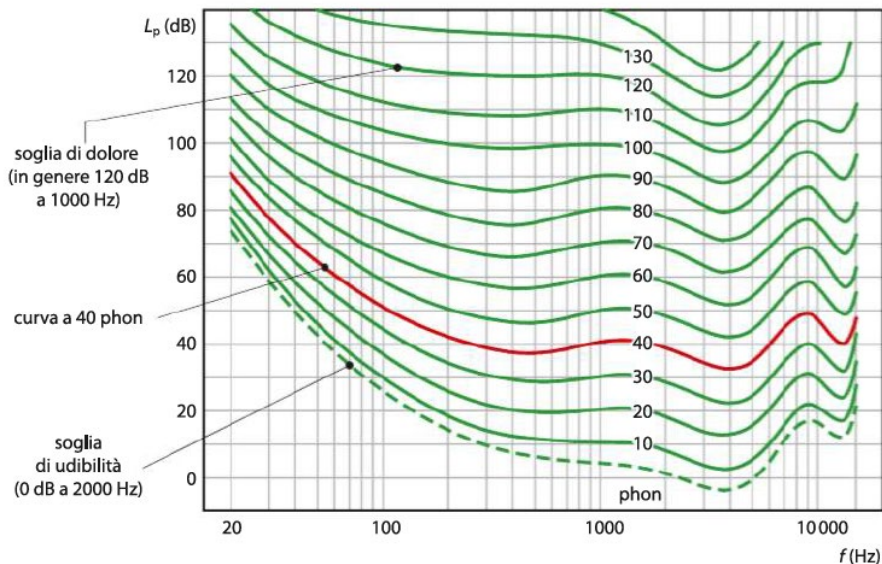
L_{eq} = 83 dB

*L'energia acustica di 1.5h a 90 dB
domina sulle 6.5h a 72 dB!*

Attenzione: il livello equivalente non è la media aritmetica! La media di 90 e 72 sarebbe 81 dB, ma il L_{eq} è 83 dB perché i periodi a livello più alto contribuiscono molto di più in termini energetici.

L'Audiogramma Normale

Curve isofoniche di Fletcher e Munson — ISO R 226:2003



Limiti: si riferisce solo a suoni puri in propagazione frontale. La risposta a suoni complessi non è deducibile per sovrapposizione degli effetti.

Caratteristiche dell'udito umano

Proprietà	Dettaglio
Soglia di udibilità	Curva inferiore (4.2 phon). A 2000 Hz = 0 dB
Soglia del dolore	~120 dB a 1000 Hz — curve più in alto
Soglia danno uditivo	Tra soglia dolore e soglia udibilità
Max sensibilità	1000-5000 Hz, picco a ~3500 Hz
Basse/alte freq.	Percepite con maggiore difficoltà
A livelli crescenti	Curve si appiattiscono → risposta più uniforme
Ultrasuoni / Infrasuoni	Destra / Sinistra della banda sonora

Mascheramento uditivo: un suono può mascherare suoni ad altre frequenze, modificando la soglia di udibilità. Effetto più marcato per frequenze vicine e livelli elevati.

Phon: unità di sensazione sonora. n phon = stessa sensazione di un tono puro a **1000 Hz di livello n dB**. Curva rossa (40 phon) = base del filtro A.

La Misura del Rumore

Fonometro, filtri di ponderazione e il decibel A

Il fonometro

Microfono che converte la pressione sonora in segnale elettrico. Amplificatore logaritmico fornisce il valore in dB.

- **Slow: 1 s** (rumori stazionari) • **Fast: 125 ms** (rumori variabili)
- **Peak: < 100 μs** (rumori impulsivi)

Filtri di ponderazione

Il microfono ha risposta piatta, ma l'orecchio no. Si applicano filtri correttivi basati sulle curve isofoniche:

- **Filtro A** (40 phon) — standard universale → **dB(A)**
- **Filtro B** (70 phon) — poco usato
- **Filtro C** (100 phon) — rumori molto intensi
- **Filtro Z** (lineare) — analisi spettrali

L'orecchio umano: campo di frequenze udibili da 20 Hz a 20 kHz. Sensibilità massima intorno a 3500 Hz dove bastano pressioni estremamente basse. Le basse frequenze richiedono pressioni molto superiori per essere percepite (a 20 Hz servono ~75 dB).

Tipologie di Fonometri



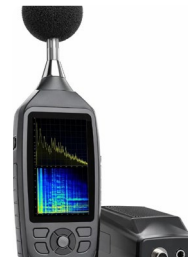
Classe 1

IEC 61672 ± 0.7 dB
Misure legali, perizie



Classe 2

IEC 61672 ± 1.4 dB
Screening, controlli



**Integratore /
Analizzatore**
Calcolo Leq, analisi
in bande 1/1 e 1/3
ottava



Dosimetro

Indossabile, dose
giornaliera di rumore

Differenze principali

Classe 1 vs Classe 2: precisione (± 0.7 vs ± 1.4 dB), costo e campo normativo. Il **TCA deve utilizzare esclusivamente fonometri di Classe 1** (D.M. 16/03/1998). Integratori: calcolo Leq e analisi spettrale. Dosimetri: esposizione personale LEX,8h (D.Lgs. 81/2008).

Tecnico Competente in Acustica (TCA)

Figura introdotta dalla Legge Quadro n. 447/1995 (art. 2, comma 6). È l'unico professionista abilitato ad eseguire misure acustiche con valore legale in Italia.

Requisiti: laurea o diploma tecnico + corso abilitante (180 ore) + iscrizione all'elenco nazionale ENTECA (D.Lgs. 42/2017).

Ruolo: valutazioni di impatto e clima acustico, collaudi, perizie, piani di risanamento. Deve utilizzare strumentazione di Classe 1 (IEC 61672) calibrata.

Ponderazione A: Dettaglio in 1/3 di Ottava

Tab. 5 — Correzioni dB(A) e esempio pratico di calcolo

Tab. 5 — Ponderazione A per bande di 1/3 di ottava

Basse frequenze		Medie frequenze		Alte frequenze	
f (Hz)	dB(A)	f (Hz)	dB(A)	f (Hz)	dB(A)
20	-50.5	200	-10.9	2000	+1.2
25	-44.7	250	-8.6	2500	+1.3
31.5	-39.4	315	-6.6	3150	+1.2
40	-34.6	400	-4.8	4000	+1.0
50	-30.2	500	-3.2	5000	+0.5
63	-26.2	630	-1.9	6300	-0.1
80	-22.5	800	-0.8	8000	-1.1
100	-19.1	1000	0 (rif.)	10000	-2.5
125	-16.1	1250	+0.6	12500	-4.3

Esempio: livello totale in dB(A) di un elettrodomestico

f (Hz)	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	L tot
dB	62	68	54	64	55	56	52	50	70.6 dB
corr. A	-26.2	-16.1	-8.6	-3.2	0	+1.2	+1.0	-1.1	
dB(A)	35.8	51.9	45.4	60.8	55	57.2	53	48.9	64 dB(A)

Costanti di Tempo per Integrazione

Slow, Fast e Impulse — IEC 61672-1

$$p_{rms}(\tau) = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^{\infty} e^{-\frac{t}{\tau}} \cdot p^2(\tau - t) dt}$$

La pressione sonora varia rapidamente nel tempo. Il fonometro applica una media esponenziale mobile definita dalla costante di tempo τ : i valori recenti pesano di più, quelli passati decadono esponenzialmente.

FAST (F)

$\tau = 125 \text{ ms}$

Decadimento: 34.7 dB/s | Notazione: LAF, LCF

Quando usarlo:

- ▶ Scelta predefinita per la maggior parte delle misure
- ▶ Rumore ambientale e occupazionale
- ▶ Rumori variabili e fluttuanti
- ▶ τ paragonabile al tempo di integrazione dell'udito umano

SLOW (S)

$\tau = 1 \text{ s}$

Decadimento: 4.3 dB/s | Notazione: LAS, LCS

Quando usarlo:

- ▶ Rumori stazionari e continui
- ▶ Impianti HVAC e sorgenti industriali
- ▶ Monitoraggi di lunga durata
- ▶ Introdotto per la lettura stabile su strumenti a lancetta

IMPULSE (I)

$\tau \text{ salita} = 35 \text{ ms}$

$\tau \text{ discesa} = 1500 \text{ ms}$ (2.9 dB/s) | Notaz: LAI

Quando usarlo:

- ▶ Rumori impulsivi (cantieri, poligoni)
- ▶ Richiesto da alcune normative europee
- ▶ Asimmetrico: cattura il picco, decade lentamente

Concetti chiave

- ▶ **Fast è il default** — 8 volte più veloce di Slow, buon compromesso reattività/stabilità
- ▶ **Peak \neq Impulse** — Peak misura il valore istantaneo massimo (nessun τ), Impulse è media esponenziale asimmetrica
- ▶ **Leq non ha τ** — il livello equivalente è una media energetica su tutto l'intervallo di misura
- ▶ **D.M. 16/03/98**: la normativa italiana richiede fonometri di classe 1 (EN 60651/EN 60804)

PEAK (LCpeak)

Nessuna costante di tempo. Misura il valore istantaneo massimo della pressione sonora.

Per un tono puro: LCpeak = Lmax + 3 dB. Per segnali complessi la differenza può essere molto grande.

Usato per valutare il rischio di danno uditivo

Sorgenti Sonore e Propagazione

Sorgenti puntiformi e lineari in campo libero



Sorgente puntiforme



Sorgente lineare

Potenza sonora W

Energia trasmessa dalla sorgente al mezzo circostante nell'unità di tempo. Si esprime come livello di potenza:

$$\text{con } W_0 = 10^{-12} \text{ W} \quad L_W = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{W}{W_0} \right) \text{ dB}$$

Intensità sonora I

Rapporto tra potenza W emessa e superficie S perpendicolare alla propagazione:

$$I = \frac{W}{S}$$

L'ascoltatore percepisce L_p numericamente uguale a L_I .

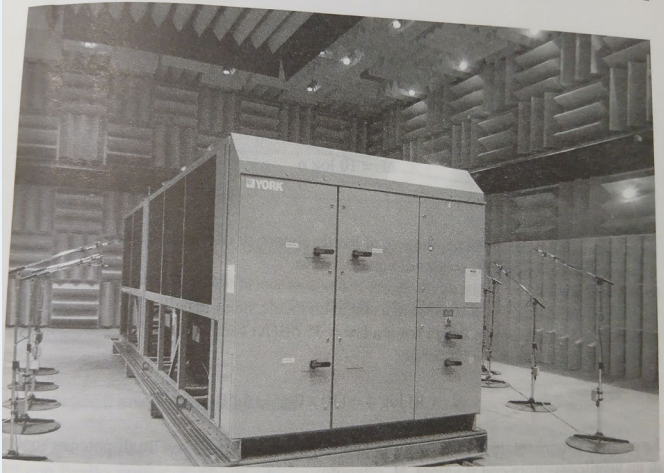
Tipo sorgente	Simmetria	Superficie S	Esempio
Puntiforme	Sferica	$S = 4\pi r^2$	Martello pneumatico, diapason, motosega
Lineare	Cilindrica	$S = 2\pi r l$	Condotta, strada trafficata

Campo libero: assenza di superfici riflettenti e ostacoli. Le considerazioni valgono anche per sorgenti in ambiente aperto, lontane da ostacoli, purché le distanze siano contenute (decine di metri).

Esempi Pratici di Livelli Sonori

Dal calcolo alla realtà: sorgenti comuni e livelli caratteristici

Camera anecoica



Nota: allestimento di una grande camera anecoica per effettuare misure di livello sonoro di un gruppo frigorifero ad aria. Si osserva la disposizione dei microfoni a reticolo attorno la macchina.

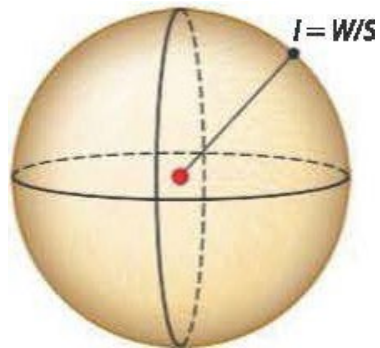
Tecnico Competente in Acustica



Nota: camera anecoica nella quale un tecnico si prepara ad effettuare una misura. Questi ambienti consentono di realizzare al loro interno delle condizioni di campo libero, senza influenze di rumore di disturbo.

Attenuazione con la Distanza

Legge della distanza per sorgenti puntiformi e lineari



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

Sorgente puntiforme

$$L_p = L_W - 20 \log_{10} r - 11 \text{ dB}$$

Sorgente lineare

$$L_p = L_W - 10 \log_{10} (r \cdot l) - 8 \text{ dB}$$

Regole fondamentali

Sorgente puntiforme:

$$\Delta L = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{r_2}{r_1} \right)$$

Al raddoppiare della distanza → **-6 dB**

Sorgente lineare:

$$\Delta L = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{r_2}{r_1} \right)$$

Al raddoppiare della distanza → **-3 dB**

Esempio 1 — Motosega (puntiforme)

$L_W = 110$ dB, sorgente omnidirezionale

- A 1.3 m: $L_p = 110 - 20 \cdot \log_{10}(1.3) - 11 = 96.7$ dB
- A 13 m: $L_p = 110 - 20 \cdot \log_{10}(13) - 11 = 76.7$ dB

Distanza 10x → attenuazione 20 dB

Esempio 2 — Strada (lineare)

Livello a 7.5 m = 62 dB

- A 50 m:

Esempio 3 — A 5 m $L = 39$ dBA

- A 10 m: $39 - 6 = 33$ dBA
 - A 20 m: $33 - 6 = 27$ dBA
- $$L_2 = 62 - 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{50}{7.5} \right) = 53.8 \text{ dB}$$

Direttività e Diagrammi di Radiazione

Fattore Q, indice di direttività e configurazioni geometriche — Fig. 6, 7, 8

Fattore di direttività Q

Per tenere conto della direzionalità dell'emissione, si introduce il fattore di direttività Q, definito come rapporto tra l'intensità sonora prodotta dalla sorgente in una certa direzione θ e l'intensità di una sorgente omnidirezionale di pari potenza:

$$Q(\theta) = \frac{I(\theta)}{I_0}$$

Indice di direttività:

Il costruttore di un apparecchio rumoroso fornisce informazioni sulla direttività tramite i **diagrammi di radiazione** (diagrammi polari).

$$DI(\theta) = 10 \cdot \log_{10} Q \text{ dB}$$

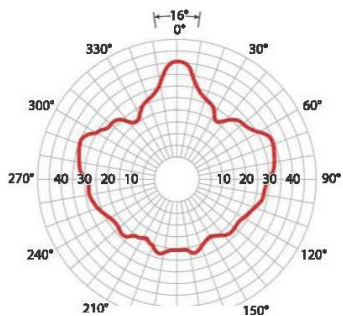


Fig. 8 — Diagramma di radiazione

Fig. 6 — Sorgente puntiforme

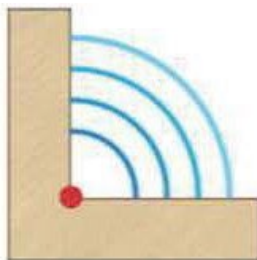


(a) Sfera — Q = 1
Emissione omnidirezionale

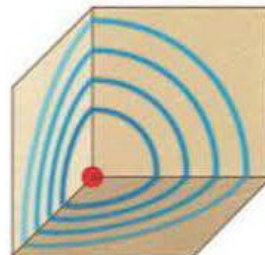


(b) Semisfera — Q = 2
Appoggiata a 1 parete

Fig. 7 — Sorgente su pareti



(a) 1/4 sfera — Q = 4
Intersezione 2 pareti



(b) 1/8 sfera — Q = 8
Intersezione 3 pareti

Tab. 2 — Fattore e indice di direttività

Posizione	Q	DI
Libera	1	0
1 parete	2	3
2 pareti	4	6
3 pareti	8	9

Effetto pratico

La posizione della sorgente influenza il livello percepito:

- Centro stanza:
Q=1, DI=0 dB
- Contro parete:
Q=2,
+3 dB
- In un angolo:
Q=4,
+6 dB
- Nell'angolo di
3 pareti: Q=8,
+9 dB

Formula Generale di Propagazione

Livello sonoro in un punto a distanza r con tutte le attenuazioni

$$L = L_W - 20 \log_{10} r + 10 \log_{10} Q - 11 - \sum A_i \text{ dB}$$

Parametro	Significato	Note
L_W	Livello di potenza della sorgente	Caratteristica intrinseca della sorgente
$20 \cdot \log_{10} r$	Attenuazione geometrica (distanza)	-6 dB per raddoppio distanza
$10 \cdot \log_{10} Q$	Guadagno per direttività	$Q = 1, 2, 4, 8 \rightarrow DI = 0, 3, 6, 9 \text{ dB}$
11	Costante = $10 \cdot \log_{10}(4\pi)$	Dalla superficie sferica
$\sum A_i$	Somma di tutte le attenuazioni	Aria, suolo, barriere, vento, vegetazione

Esempio: tre sorgenti ai vertici di un quadrato 10 m

Sorgente A ($W=2.5W$, omnidirezionale): $L_W = 124 \text{ dB}$, $r = \sqrt{10^2+10^2} = 14.1\text{m}$, $Q = 1$

$$L_A = 124 - 20 \cdot \log_{10}(14.1) + 0 - 11 = 90 \text{ dB}$$

Sorgente B ($W=2W$, omnidirezionale): $L_W = 123 \text{ dB}$, $r = 10\text{m}$, $Q = 1$

$$L_B = 123 - 20 \cdot \log_{10}(10) + 0 - 11 = 92 \text{ dB}$$

Sorgente C ($W=1.5W$, su parete $Q=2$): $L_W = 122 \text{ dB}$, $r = 10\text{m}$, $Q = 2$

$$L_C = 122 - 20 \cdot \log_{10}(10) + 3 - 11 = 94 \text{ dB}$$

Livello totale nel punto D: $L_D = 10 \cdot \log_{10}(10^9 \cdot 0 + 10^9 \cdot 2 + 10^9 \cdot 4) = 97 \text{ dB}$

Attenuazione Atmosferica e Ambientale

Assorbimento dell'aria, temperatura, vento ed effetto suolo

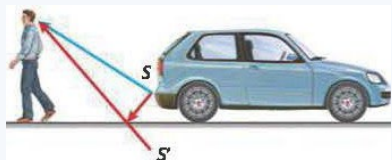
Tab. 3 — Assorbimento dell'aria α (dB/100m)

T °C / U.R.	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
10°C / 50%	0.02	0.06	0.24	0.70	1.5	2.6
10°C / 80%	0.04	0.12	0.28	0.50	1.0	2.8
20°C / 50%	0.05	0.08	0.26	0.56	0.99	2.1
20°C / 80%	0.11	0.11	0.22	0.61	2.1	7.0
30°C / 50%	0.10	0.10	0.20	0.41	1.2	4.2
30°C / 80%	0.30	0.20	0.38	0.92	2.5	0.81

Esempio: sirena a 4100 Hz, $L_w = 120$ dB, $T = 20^\circ\text{C}$, U.R. 50%

$$\alpha \approx 2.1 \text{ dB/100m} \rightarrow A_a = 2.1 \times 300/100 = 6.3 \text{ dB}$$

$$L = 120 - 20 \cdot \log_{10}(300) - 11 - 6.3 = \mathbf{53.2 \text{ dB}}$$



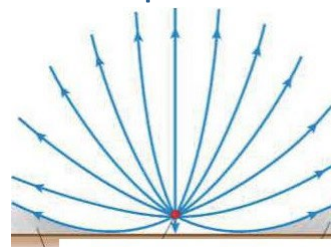
Effetto suolo: il suono riflesso dal terreno si somma a quello diretto, con un aumento del livello (sorgente virtuale S'). L'asfalto poroso riduce la riflessione del 50% vs il 10% dell'asfalto denso. La presenza di alberature riduce ulteriormente la riflessione, poiché aumenta la porosità del suolo (contributo ~ 1 dB/10m).

ing. Giovanni Rossi - Propagazione ed attenuazione del rumore in una rete HVAC

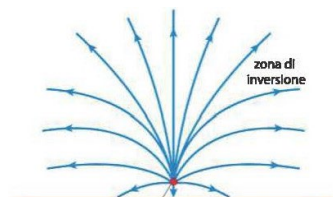
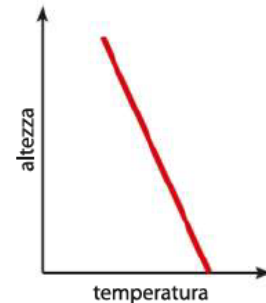
$$A_a = \frac{\alpha \cdot r}{100} \text{ dB}$$

α = coeff. assorbimento (Tab. 3)
 r = distanza dalla sorgente (m)

Effetto temperatura e vento



T diminuisce con la quota
 \rightarrow zona d'ombra

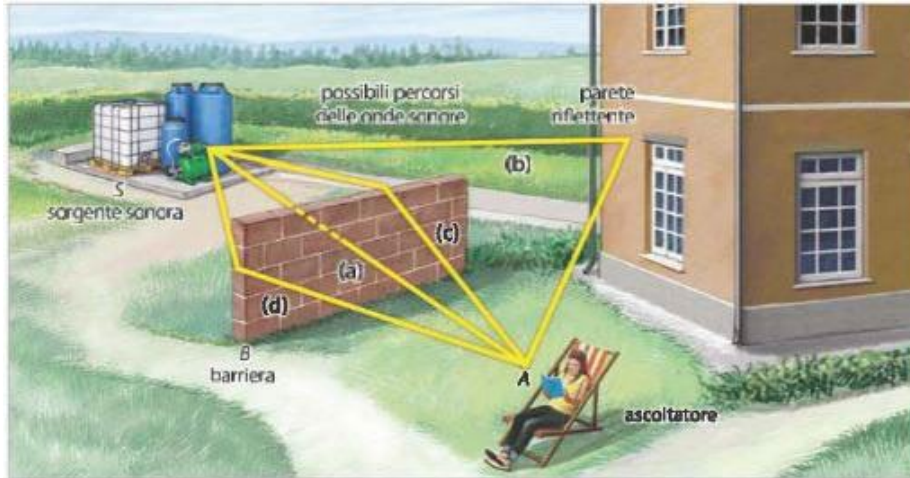


Inversione termica
 \rightarrow curvatura verso il basso



Barriere Acustiche

Attenuazione per diffrazione — Metodo empirico di Maekawa



(a) trasmissione (b) riflessione (c) diffrazione bordo sup. (d) diffrazione laterale

Metodo di Maekawa

Differenza di cammino: $\delta = d_{SB} + d_{BA} - d_{SA}$

Numero di Fresnel: $N = \frac{2\delta}{\lambda} = \frac{2\delta f}{c}$

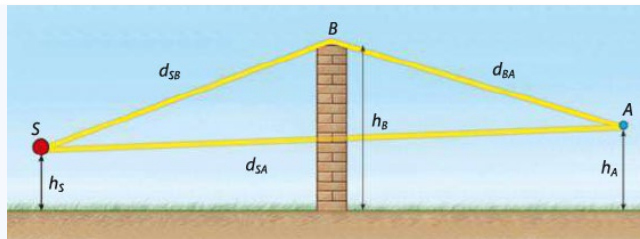
Attenuazione:

- dove:
- $\Delta L_{\text{barriera}} = 10 \cdot \log_{10}(3 + 20 \cdot N)$ nel caso di sorgenti puntiformi;
 - $\Delta L_{\text{barriera}} = 10 \cdot \log_{10}(3 + 5,5 \cdot N)$ nel caso di sorgenti lineari.

d_{SB} = distanza sorgente-bordo barriera

d_{BA} = distanza bordo-ascoltatore

d_{SA} = distanza diretta sorgente-ascoltatore

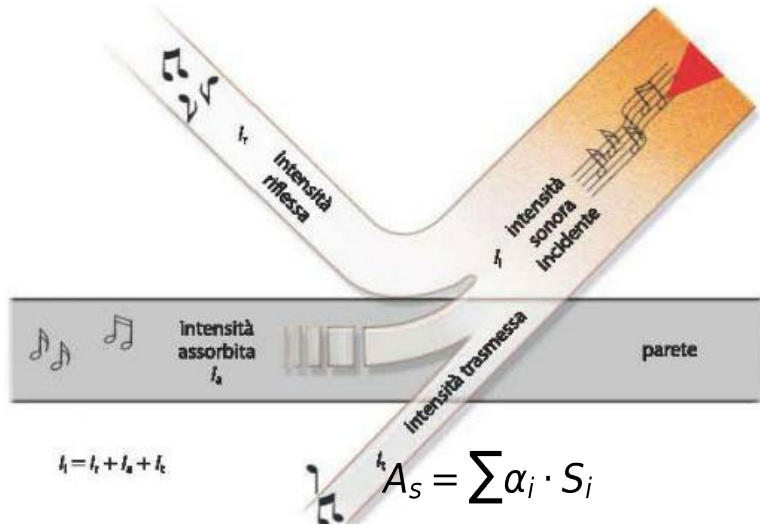


$$\delta = (d_{SB} + d_{BA} + S_B) - d_{SA} \approx d_{SB} + d_{BA} - d_{SA}$$

S_B è lo spessore della barriera

Riflessione, Assorbimento e Trasmissione

Propagazione del rumore in campo chiuso



Onda incidente su una parete

Coefficienti fondamentali

Quando un'onda incide su una superficie, l'intensità sonora I_i si suddivide in:

$$I_i = I_r + I_a + I_t$$

Coefficiente di riflessione:

$$r = \frac{I_r}{I_i}$$

Coefficiente di assorbimento:

$$a = \frac{I_a}{I_i}$$

Coefficiente di trasmissione:

$$t = \frac{I_t}{I_i}$$

Relazione: $a + r + t = 1$

Assorbimento acustico apparente: $\alpha = a + t = 1 - r$
Rappresenta la frazione di energia non riflessa (assorbita + trasmessa).

Area equivalente di assorbimento acustico

$A_s = \alpha \cdot S$ (m² di finestra aperta)
(m² di finestra aperta)
Per più materiali:

Coeff. di assorbimento acustico medio

$$\bar{\alpha} = \frac{A_s}{S_{tot}}$$

Indice di fonoassorbimento o costante Ambiente o Acustica del locale

$$R_f = \frac{\bar{\alpha} \cdot S_{tot}}{1 - \bar{\alpha}}$$

Coefficienti di Assorbimento Acustico

Materiali comuni e materiali fonoassorbenti — Tab. 1, 2 e 3

Tab. 1 — Materiali comuni

Materiale	125	250	500	1k	2k	4k
Intonaco su muro	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07
Muratura mattoni grezzi	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.07
Pavimento in linoleum	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05
Vetro (finestra chiusa)	0.35	0.25	0.18	0.12	0.07	0.04
Moquette su cemento	0.09	0.08	0.21	0.26	0.27	0.37
Finestra aperta	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Porta in legno	0.14	0.10	0.06	0.08	0.10	0.10
Persona adulta in piedi	0.18	0.40	0.42	0.45	0.45	0.42

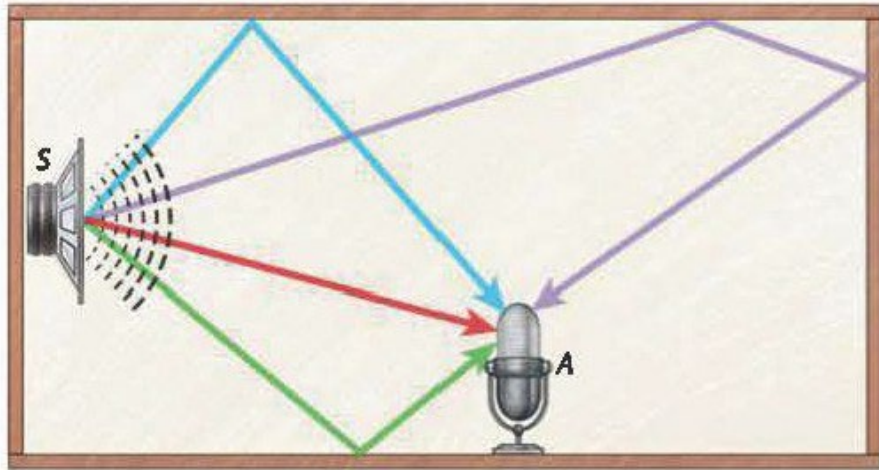
Tab. 2 — Materiali fonoassorbenti

Materiale	125	250	500	1k	2k	4k
Intonaco acustico 12mm	0.08	0.15	0.30	0.50	0.60	0.70
Fibra vetro 25mm 10kg/m ³	0.08	0.25	0.65	0.82	0.90	0.85
Fibra vetro 50mm 10kg/m ³	0.15	0.55	0.80	0.90	0.85	0.80
Fibra vetro 25mm 20kg/m ³	0.10	0.35	0.75	0.90	0.85	0.80
Sughero 20mm 80kg/m ³	0.05	0.10	0.20	0.55	0.60	0.55
Poltrona imbottita (occ.)	0.40	0.60	0.80	0.90	0.90	0.85

La Riverberazione

Riflessioni in ambiente chiuso e zone del campo sonoro

Fig. 2 — Riflessioni in ambiente chiuso



S = sorgente A = ascoltatore **Linee colorate** = percorsi riflessi

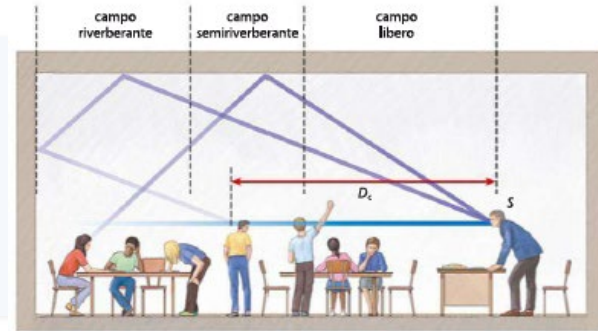
Campo diretto

$r < D_c \rightarrow -6 \text{ dB/raddoppio}$

Campo riverberante

$r > D_c \rightarrow \text{livello costante}$

Fig. 3 — Zone del campo sonoro



$$L_{Sr} = L_W + 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R_f} \right)$$

$$D_c = \sqrt{\frac{Q \cdot R_f}{16\pi}} \quad \text{Distanza critica:}$$

Semiriverberante

$r \approx D_c \rightarrow \text{somma contributi}$

Livello Sonoro in Campo Chiuso

Formule del campo riverberante e semi-riverberante — Costante di ambiente R

Formula generale (campo diretto + riverberante)

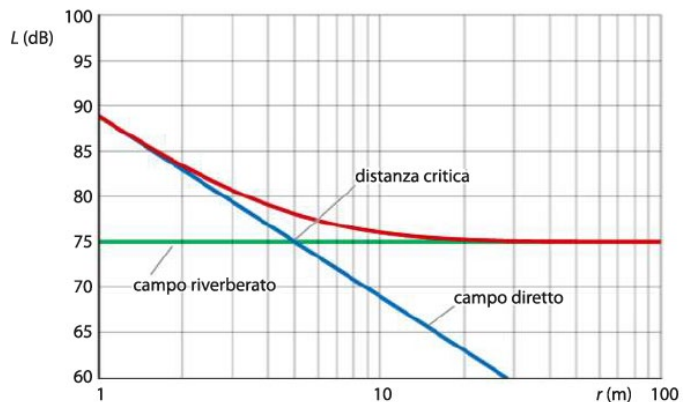
$$L_p = L_w + 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right)$$

L_w = livello di potenza sonora (dB)

Q = fattore di direttività

r = distanza dalla sorgente (m)

R = costante di ambiente (m^2)



Campo semi-riverberante ($r \approx D_c$): Quando la distanza è prossima alla distanza critica D_c , entrambi i contributi (diretto e riverberato) sono significativi. Si usa la formula completa senza semplificazioni. Il livello è la somma energetica dei due campi.

Campo diretto ($r \ll D_c$)

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

Predomina il termine $Q/4\pi r^2$: il livello decresce di 6 dB per ogni raddoppio della distanza. L'energia arriva direttamente dalla sorgente.

Campo riverberante ($r \gg D_c$)

$$L_p = L_w + 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{4}{R} \right)$$

Predomina il termine $4/R$: il livello è costante, indipendente dalla distanza. L'energia proviene dalle riflessioni multiple sulle pareti.

Costante di ambiente R

$$R = \frac{S\bar{\alpha}}{1 - \bar{\alpha}}$$

S = superficie totale (m^2)

$\bar{\alpha}$ = coeff. assorbimento medio

Distanza Critica

Figura 5 — Livello sonoro L_p in funzione della distanza dalla sorgente

Formula della distanza critica D_c

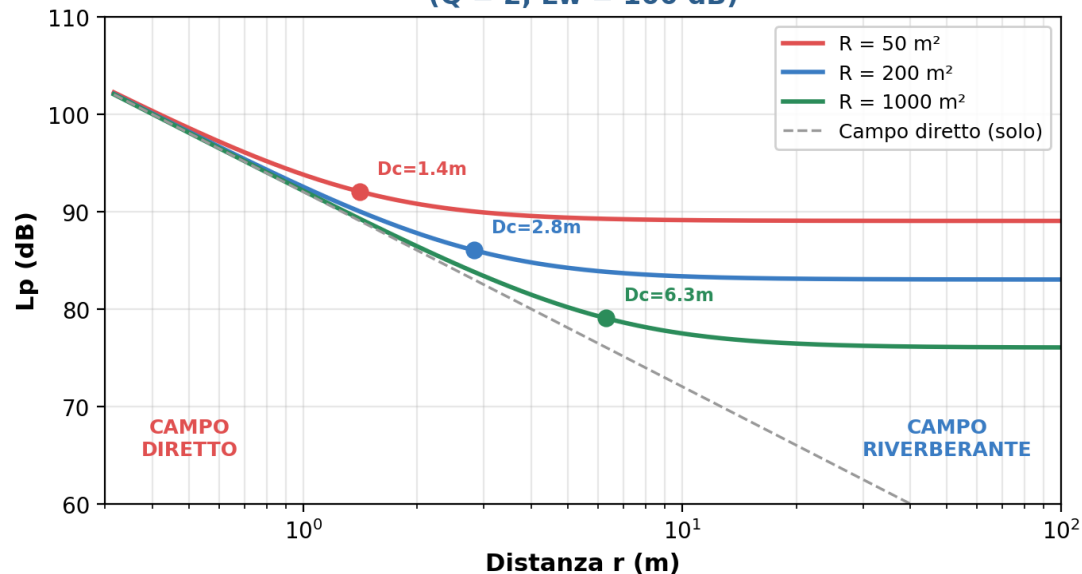
$$D_c = \sqrt{\frac{Q \cdot R}{16\pi}}$$

D_c è la distanza alla quale il livello del campo diretto uguaglia quello del campo riverberante. Dipende dal fattore di direttività Q e dalla costante di ambiente R .

Letture del grafico:

- ▶ R piccolo \rightarrow D_c piccola (ambiente riverberante)
- ▶ R grande \rightarrow D_c grande (ambiente assorbente)
- ▶ Oltre D_c il livello si appiattisce: agire sulla sorgente non basta, serve trattamento acustico

Figura 5 — Livello sonoro L_p in funzione della distanza ($Q = 2$, $L_w = 100$ dB)



Misura del Tempo di Riverberazione

Tecnica impulsiva e analisi della curva di decadimento



Fig. 9 — Misura con tecnica impulsiva (scoppio palloncino + oscilloscopio)

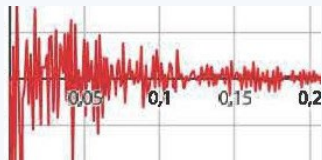


Fig. 10 — Segnale registrato

Suono diretto + riflessioni di ampiezza decrescente nel tempo

Metodi di misura

1. Sorgente interrotta

Si attiva una sorgente omnidirezionale, si attende il regime stazionario, si spegne e si misura il tempo di decadimento di 60 dB con fonometro integratore.

2. Tecnica impulsiva

Rumore impulsivo (es. scoppio palloncino), rilevato da microfono collegato a oscilloscopio digitale.

$$\tau_{60} = 60 \cdot \frac{\Delta t}{\Delta L}$$

Formula:



Fig. 12 — Curva di decadimento

Andamento pressoché lineare in dB → calcolo di τ_{60} dalla pendenza

Tempo di Riverberazione

Formule di Sabine e Eyring, tempi ottimali per destinazione d'uso

Definizione: τ_{60} è il tempo necessario, dopo aver spento la sorgente, perché il livello diminuisca di **60 dB**.

Formula di Sabine

$$\tau_{60} = 0,163 \cdot \frac{V}{A_S} \text{ (s)}$$

Valida per $\bar{a} < 0.2$ (ambienti riverberanti)

Tab. 7 — Tempi di riverberazione ottimali

Ambiente	Requisito	τ_{60} (s)
Studi radiofonici	Intelligibilità parola	0.3–0.4
Aule scolastiche	Intelligibilità parola	0.5–0.8
Sale conferenze	Intelligibilità parola	0.6–0.8
Uffici open space	Privacy acustica	0.3–0.6
Teatri per recitazione	Intelligibilità parola	0.8–1.0
Teatri musica da camera	Percezione musica	1.3–1.7
Teatri sinfonici	Percezione musica	1.6–2.2
Cattedrali con organo	Percezione musica	2–4

Potere Fonoisolante e Legge della Massa

Definizione, formula e andamento in funzione della frequenza

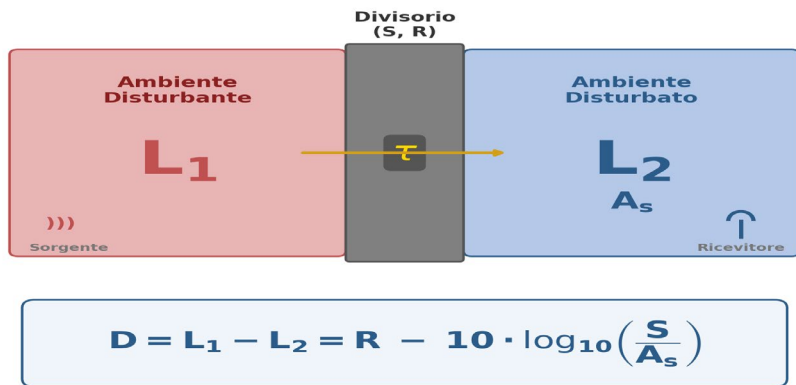


Fig. 16 — Ambiente disturbante e ambiente disturbato

Potere fonoisolante

$$R = 10 \cdot \log_{10}\left(\frac{1}{\tau}\right) \text{ dB}$$

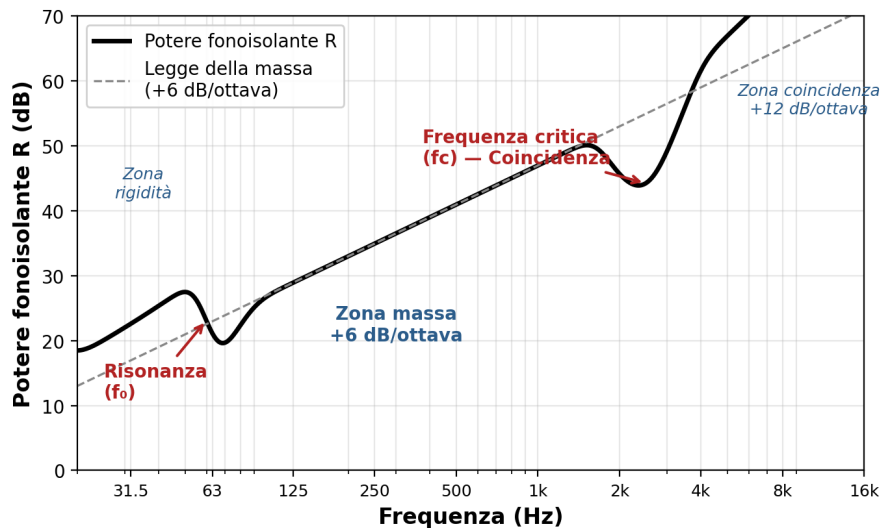
Legge della massa

$$R = 20 \cdot \log_{10}(m \cdot f) - 47,2 \text{ dB}$$

+6 dB per raddoppio di massa o frequenza

Porta: 12–24 dB • Mattoni 24cm: 40–57 dB • Porta acustica: 36–57 dB

Andamento di R in funzione della frequenza — Pannello singolo



Tre zone caratteristiche:

- ▶ **Basse freq.** — risonanza del pannello riduce R
- ▶ **Medie freq.** — legge della massa: +6 dB per raddoppio di m o f
- ▶ **Alte freq.** — coincidenza alla freq. critica fc: calo netto di R

Coefficiente di Trasmissione Medio

Tab. 10 — Potere fonoisolante di comuni strutture edilizie in bande di ottava

Struttura	Massa kg/m ²	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Mattoni pieni 12 cm	220	36	36	40	46	56	57
Mattoni pieni 24 cm	430	40	41	48	56	57	60
Calcestruzzo 20 cm	460	42	48	54	54	59	60
Porta legno comune	12	14	16	16	24	28	24
Porta acustica	40	30	36	39	49	57	52
Lastra vetro 6 mm	15	20	24	30	30	26	35
Doppio vetro 6mm int. 50mm	30	18	28	38	41	38	48

Coefficiente di trasmissione medio

$$\tau_m = \frac{\sum_i S_i \cdot \tau_i}{\sum_i S_i} \quad R_w = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{\tau_m} \right) \text{ dB}$$

Osservazioni chiave

- ▶ Pareti composite: il punto debole domina
- ▶ Porta legno (R=16 dB) degrada l'intero divisorio
- ▶ Vetro: coincidenza visibile a 2000 Hz (calo R)
- ▶ Doppio vetro migliora alle alte frequenze

Isolamento Acustico

Trasmissione diretta e per vie laterali



Fig. 17 — Vie di trasmissione del rumore in un edificio

Via diretta

attraverso il divisorio

Via laterale

tubazioni, condotte

Via strutturale

vibrazioni solaio/pareti

$$D = L_1 - L_2$$

$$D = L_1 - L_2 = R - 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{S}{A_s} \right)$$

$$R \uparrow \rightarrow D \uparrow$$

$$S \uparrow \rightarrow D \downarrow$$

$$A_s \uparrow \rightarrow D \uparrow$$

Esempio

Porta aperta $\rightarrow L_2 = 60 \text{ dB}$

Porta chiusa $\rightarrow L_2 = 44 \text{ dB}$

-16 dB chiudendo la porta!

Strategie di Riduzione del Rumore

Sorgente interna, esterna e rumore da calpestio

Sorgente INTERNA

- ▶ Aumentare l'assorbimento $\bar{\alpha}$ ↑

riduce il campo riverberante

- ▶ Schermare la sorgente

barriere → riduce il campo diretto

- ▶ Aumentare la distanza

-6 dB per raddoppio

Sorgente ESTERNA

- ▶ Aumentare il potere fonoisolante R ↑

più massa, pareti doppie

- ▶ Eliminare i punti deboli

porte, finestre, fessure

- ▶ Trattare le vie laterali

tubazioni, giunti, condotte

Pareti doppie

Due strati non vincolati + intercapedine
con materiale fonoassorbente

Pavimento galleggiante

Strato smorzante tra i piani
Nessun contatto con pareti laterali

Una porta (15% della superficie) riduce R complessivo del ~50% — gli infissi sono sempre il punto debole!

Trasmissione del rumore degli impianti

Rumore aereo

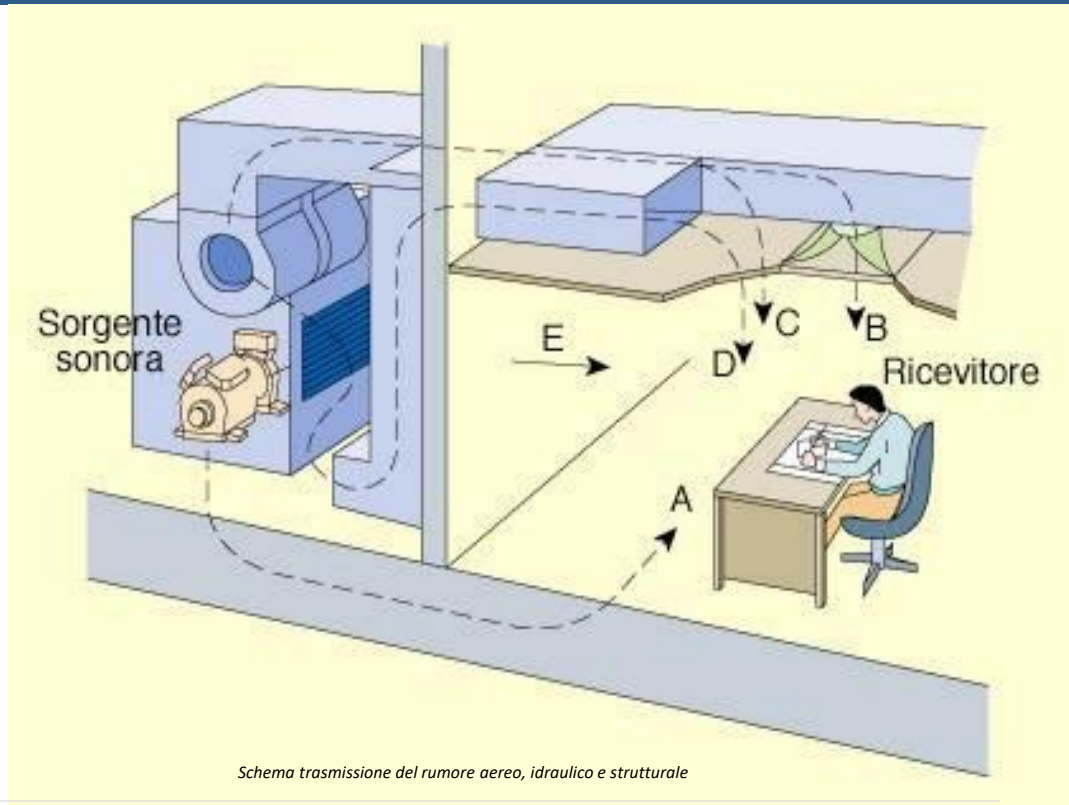
- Si trasmette attraverso l'aria, in uscita da unità esterne, gruppi frigoriferi, bocchette, diffusori e pareti dei condotti

Rumore idraulico

- Generato da pompe, restringimenti, valvole, colpi d'ariete. Si propaga a grandi distanze con minime perdite di energia

Rumore strutturale

- Dovuto a vibrazioni trasmesse alla struttura dell'edificio da macchine dinamiche (pompe, compressori, ventilatori)
- Si trasmette nella muratura fino a punti di discontinuità, rientrando in ambiente con pochissima attenuazione



Schema trasmissione del rumore aereo, idraulico e strutturale

La Legge Quadro sull'Inquinamento Acustico

Legge n. 447 del 26 ottobre 1995

La **Legge 447/1995** stabilisce i principi fondamentali in materia di tutela dall'inquinamento acustico dell'ambiente esterno e abitativo. Composta da 17 articoli.

Definizioni principali (Art. 2)

Termine	Definizione
Inquinamento acustico	Introduzione di rumore nell'ambiente tale da provocare fastidio, disturbo, pericolo per la salute, deterioramento degli ecosistemi
Sorgenti fisse	Impianti tecnici degli edifici, infrastrutture stradali/ferroviarie/aeroportuali, attività industriali e commerciali
Sorgenti mobili	Tutte le sorgenti sonore non comprese nelle sorgenti fisse
Valore limite emissione	Massimo rumore emesso da una sorgente, misurato in prossimità della sorgente stessa
Valore limite immissione	Massimo rumore immesso da una o più sorgenti nell'ambiente abitativo o esterno — assoluto o differenziale
Valore di attenzione	Valore di immissione il cui superamento obbliga a intervento di mitigazione e rende applicabili ordinanze urgenti
Valori di qualità	Valori di rumore da conseguire nel breve, medio e lungo periodo con le tecnologie disponibili

Competenze: Stato (art. 3) — limiti, tecniche di misura, requisiti sorgenti e edifici | **Regioni (art. 4)** — criteri zonizzazione, leggi attuative | **Comuni (art. 6)** — classificazione territorio, piani di risanamento

Zonizzazione Acustica del Territorio

DPCM 14 novembre 1997 — Classificazione in 6 classi

La **zonizzazione acustica** suddivide il territorio comunale in 6 classi per destinazione d'uso, con limiti acustici specifici.

Classe	Denominazione	Descrizione
I	Aree particolarmente protette	Ospedali, scuole, aree di riposo e svago, aree residenziali rurali, parchi pubblici
II	Aree prevalentemente residenziali	Aree urbane con traffico veicolare locale, bassa densità di popolazione, assenza di attività industriali
III	Aree di tipo misto	Traffico veicolare locale/attraversamento, media densità, attività commerciali, uffici, assenza di attività industriali
IV	Aree di intensa attività umana	Intenso traffico veicolare, alta densità commerciale e di uffici, limitata presenza di piccole industrie
V	Aree prevalentemente industriali	Insedimenti industriali, scarsità di abitazioni
VI	Aree esclusivamente industriali	Attività esclusivamente industriali, prive di insediamenti abitativi

Per ogni classe sono definiti: valori limite di emissione (Tab. 2) | valori limite assoluti di immissione (Tab. 3) | valori di qualità (Tab. 4) | valori di attenzione (Tab. 5)

Limiti di Emissione, Immissione e Qualità

DPCM 14/11/1997 — Valori in L_{eq} dBA

Tab. 2 — Limiti di emissione

Classe	Diurno	Notturno
I	45	35
II	50	40
III	55	45
IV	60	50
V	65	55
VI	65	65

Tab. 3 — Limiti assoluti di immissione

Classe	Diurno	Notturno
I	50	40
II	55	45
III	60	50
IV	65	55
V	70	60
VI	70	70

Tab. 4 — Valori di qualità

Classe	Diurno	Notturno
I	47	37
II	52	42
III	57	47
IV	62	52
V	67	57
VI	70	70

Diurno: 06:00–22:00 | **Notturno:** 22:00–06:00 | Tutti i valori in L_{eq} dB(A)

Criterio differenziale e valori di attenzione

Limite differenziale di immissione:

Diurno: ≤ 5 dBA (06:00–22:00)

Notturno: ≤ 3 dBA (22:00–06:00)

Tab. 5 — Valori di attenzione (rif. L_{eq} dBA)

	Rif. diurno	Rif. nott.	1h diurno	1h nott.
I	50	40	60	45
II	55	45	65	50
III	60	50	70	55
IV	65	55	75	60
V	70	60	80	65
VI	70	70	80	75

Esempio del criterio differenziale

Metodologia di indagine per la verifica strumentale del criterio differenziale

Il criterio differenziale valuta l'impatto di una sorgente sonora in ambiente confinato:

ΔL = Ambientale - Lresiduo

- Ambientale → sorgente attiva
- Lresiduo → rumore di fondo

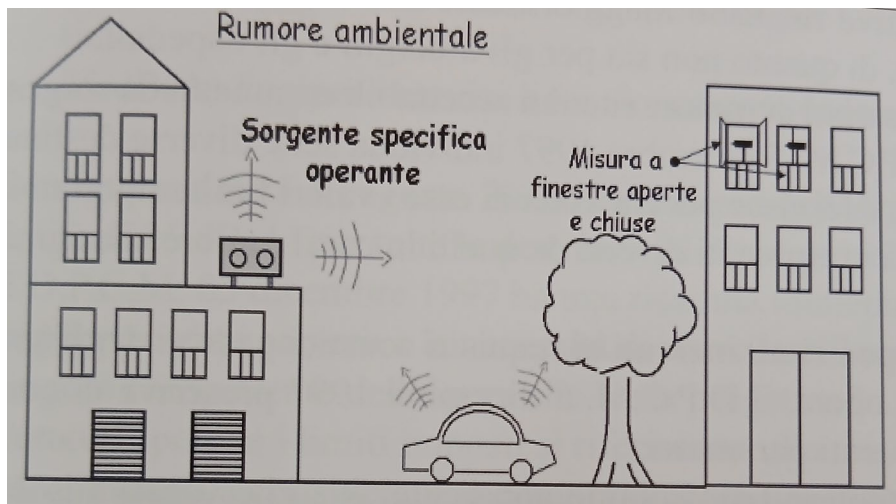
Limiti normativi (DPCM 14/11/1997):

Diurno: ≤ 5 dB(A)

Notturmo: ≤ 3 dB(A)

Procedura:

1. Misura Leq ambientale
2. Spegni la sorgente
3. Misura Leq residuo
4. Calcola ΔL
5. Verifica i limiti



Requisiti Acustici Passivi degli Edifici

DPCM 5 dicembre 1997 — Prestazioni minime delle componenti edilizie

Tab. 6 — Classificazione degli edifici

Cat.	Destinazione d'uso
A	Residenza e assimilabili
B	Uffici e assimilabili
C	Alberghi, pensioni e attività assimilabili
D	Ospedali, cliniche, case di cura e assimilabili
E	Scuole e assimilabili
F	Attività ricreative, culto e assimilabili
G	Attività commerciali e assimilabili

Parametri acustici:

R'*w* — Potere fonoisolante apparente (tra ambienti)

D2*m,nT,w* — Isolamento acustico standardizzato di facciata

L'*n,w* — Livello di rumore di calpestio normalizzato

LAS*max* — Livello max impianti a funz. discontinuo

LAeq — Livello equiv. impianti a funz. continuo

Impianti

Tab. 7 — Requisiti acustici per categoria

Cat.	R' <i>w</i> (dB)	D2 <i>m,nT,w</i> (dB)	L' <i>n,w</i> (dB)	LAS <i>max</i> (dBA)	LAeq (dBA)
D	55	45	58	35	25
A, C	50	40	63	35	35
E	50	48	58	35	25
B, F, G	50	42	55	35	35

Verifica della rumorosità degli impianti tecnologici

ai sensi delle norme UNI

Le tre norme a confronto

Quadro normativo per la misurazione del rumore degli impianti tecnologici negli edifici



UNI EN ISO 10052

2021

Metodo di controllo
Misurazioni semplificate per
verifiche rapide



UNI 11367

2023

Classificazione acustica
Valutazione e verifica in opera delle
unità immobiliari



UNI EN ISO 16032

2005

Metodo tecnico progettuale
Misurazioni dettagliate per
progettazione

UNI EN ISO 10052/2021

Metodo di controllo — Misurazioni in opera

Scopo

Metodo semplificato per la misurazione dell'isolamento acustico e della rumorosità degli impianti in ambienti diversi dalla sorgente.

Posizioni di misura

3 misurazioni totali: 1 in posizione d'angolo + 2 nel campo riverberante.

Strumentazione

Accuratezza di classe 1 o 2.

Grandezze misurate

LAeq e LASmax da confrontare con i limiti del D.P.C.M. 5/12/1997.

Normalizzazioni

Rispetto al tempo di riverberazione e all'assorbimento acustico equivalente.

Cicli operativi (All. B)

Doccia, gabinetto con sciacquone, ventilazione meccanica.

UNI 11367/2023 — Appendice D

Classificazione acustica delle unità immobiliari

Scopo

Classificazione acustica con procedura di valutazione e verifica in opera. L'Appendice D tratta specificamente il rumore da impianti.

Tipologie di impianti

Impianti a funzionamento continuo e discontinuo, con grandezze e cicli operativi dedicati.

Classi acustiche

Valori limite per classi acustiche, con requisiti aggiuntivi per destinazioni d'uso ricettive.

Posizioni di misura

Almeno 3 posizioni: 1 d'angolo + 2 in campo riverberante. 6 misure totali (2 per ogni posizione).

Correzione rumore residuo

Solo per impianti a funzionamento continuo (non prevista nella UNI 10052).

Normalizzazione

Rispetto al tempo di riverberazione, sia per impianti continui sia discontinui.

UNI EN ISO 16032/2005

Metodo tecnico progettuale

Scopo

Metodo più rigoroso per la misurazione del livello di pressione sonora degli impianti tecnici negli edifici.

Strumentazione

Classe 1 obbligatoria. Analizzatore in bande di ottava da 50 Hz a 5000 Hz.

Posizioni di misura

3 posizioni: 1 d'angolo (massimo livello ponderato C) + 2 nel campo riverberante, con distanze e altezze specificate.

Ripetizioni

2 misurazioni di L_{eq} in posizione d'angolo. Media energetica per banda di ottava nelle posizioni in campo riverberante.

Correzione rumore di fondo

Fattore correttivo K con formule specifiche per ciascuna banda di ottava.

Grandezza a indice unico

Determinazione del livello ponderato C ma per confrontare i livelli con il D.P.C.M. 5/12/1997 occorre "scalare" i valori misurati col fattore di ponderazione A .

Confronto tra le tre norme

“Tre metodi, un obiettivo: garantire il comfort acustico negli edifici”

Parametro	UNI EN ISO 10052/2021	UNI 11367/2023 App. D	UNI EN ISO 16032/2005
Tipo di metodo	Controllo (semplificato)	Classificazione acustica	Tecnico progettuale
N° posizioni di misura	2 (1 angolo + 1 campo riv.)	3 (1 angolo + 2 campo riv.)	3 (1 angolo + 2 campo riv.)
N° misurazioni totali	3	6	6+
Classe strumentazione	Classe 1 o 2	Non specificata (cfr. norme rif.)	Classe 1
Analisi in frequenza	No (livello globale)	No (livello globale)	Sì (bande di ottava)
Correzione rumore fondo	No	Sì (solo continui)	Sì
Normalizzazione T riv.	Sì	Sì	Sì

Confronto limiti D.P.C.M. 5/12/1997 — UNI 11367

“Dal limite minimo alla qualità: la classificazione come strumento di valorizzazione immobiliare”

D.P.C.M. 5/12/1997 — Tabella B: Requisiti acustici passivi

Cat.	Destinazione d'uso	R'w [dB]	D2m,nT,w [dB]	L'n,w [dB]	LASmax [dB(A)]	LAeq [dB(A)]
D	Ospedali, cliniche, case di cura	55	45	58	35	25
A, C	Residenze, alberghi, pensioni	50	40	63	35	35
E	Scuole a tutti i livelli	50	48	58	35	25
B, F, G	Uffici, ricreative, culto, commerciali	50	42	55	35	35

UNI 11367 — Prospetto 1: Classi acustiche

Classe	R'w [dB]	D2m,nT,w [dB]	L'n,w [dB]	Lid [dB(A)]	Lic [dB(A)]
I	≥ 56	≥ 43	≤ 53	≤ 30	≤ 25
II	≥ 53	≥ 40	≤ 58	≤ 33	≤ 28
III	≥ 50	≥ 37	≤ 63	≤ 37	≤ 32
IV	≥ 45	≥ 32	≤ 68	≤ 42	≤ 37

Corrispondenza esatta con i limiti D.P.C.M. 5/12/1997 (cat. A residenze)

Per R'w, D2m,nT,w e L'n,w i limiti D.P.C.M. coincidono con le soglie di Classe II–III. Per LASmax/LAeq (35 dB) non c'è corrispondenza esatta: il valore cade tra le classi III e IV. La UNI 11367 è volontaria ma più restrittiva e il D.P.C.M. 5/12/1997 resta l'unico obbligo cogente.

Aspetti operativi chiave

Posizione d'angolo

Elemento critico comune a tutte le norme. Rileva i livelli massimi di pressione sonora e determina la posizione di riferimento per le altre misurazioni.

Campo riverberante

Le posizioni aggiuntive nel campo diffuso completano la caratterizzazione acustica dell'ambiente, con distanze minime da pareti e sorgenti.

Cicli operativi

Ogni norma specifica le condizioni di funzionamento degli impianti durante la misura: doccia, sciacquone, ventilazione meccanica, con parametri L_{max} e L_{eq} .

Correzioni e normalizzazioni

Il rumore di fondo e il tempo di riverberazione influenzano i risultati. Le norme più avanzate prevedono correzioni specifiche per garantire la ripetibilità.

Riferimento legislativo: D.P.C.M. 5/12/1997

Limiti di rumorosità degli impianti tecnologici



Valori limite cogenti

Il D.P.C.M. 5/12/1997 stabilisce i limiti di rumorosità per gli impianti tecnologici a funzionamento sia continuo sia discontinuo. Tutte e tre le norme UNI producono grandezze direttamente confrontabili con tali limiti.



Classificazione vs. legislazione

La UNI 11367/2023 propone classi acustiche con valori più articolati rispetto al D.P.C.M. Il confronto evidenzia come i limiti legislativi corrispondano generalmente alla classe III (sufficiente).



Scelta della norma di misura

UNI EN ISO 10052 per controlli rapidi e verifiche di conformità. UNI 11367 (App. D) per classificazione acustica degli edifici. UNI EN ISO 16032 per misurazioni progettuali di alta precisione.

Grazie per l'attenzione

Ing. Giovanni Rossi

Per chiarimenti o supporto contattami al:

E-mail: giovannirossi_100@hotmail.com

Cel: 3515213303

