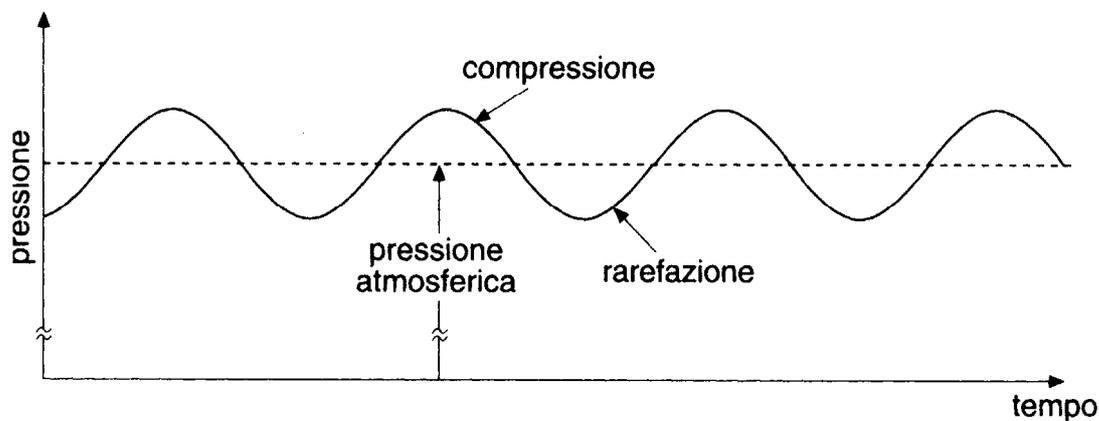


PDF

WWW.RENATOGIUSSANI.IT



Il fenomeno acustico è costituito da una variazione periodica della pressione dell'aria, attorno ad un valore di riposo, provocata da fenomeni meccanici.

La rarefazione e compressione dell'aria, o più in generale del mezzo elastico, provocate in un punto si propagano nello spazio con velocità finita.

Per un segnale acustico sinusoidale (detto tono puro) si osserverà, in un dato punto dello spazio, un andamento della pressione nel tempo come quello sopra riportato.

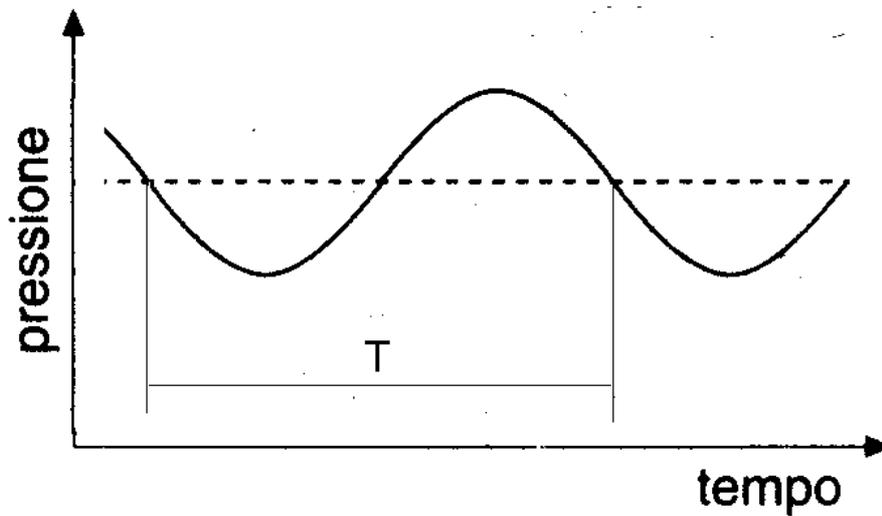
I valori massimi e minimi di variazione di pressione percepibili dall'orecchio umano risultano:

$$\Delta P_{\min} = 20 \text{ } \mu\text{Pa}$$

$$\Delta P_{\max} = 200 \text{ Pa}$$

Si osservi che

$$\frac{\Delta P_{\max}}{\Delta P_{\min}} = 10^7$$



Un segnale acustico è caratterizzato da alcune grandezze specifiche:

Periodo (T) : Tempo corrispondente alla durata di una oscillazione completa

Frequenza (f) : Inverso del periodo dell'oscilazione

Lunghezza d'onda (l) : spazio percorso del tempo T

Velocità di propagazione (c): la velocità con cui il segnale acustico si propaga nel mezzo elastico

Sussistono le seguenti relazioni:

$$f = \frac{1}{T} \quad [s^{-1}]$$

$$c = \frac{\lambda}{T} \quad [m \cdot s^{-1}]$$

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad [m]$$

$$L = 20 \log \frac{P}{P_0} \quad [\text{dB}]$$

In considerazione della grande variabilità dei valori della pressione sonora che comporta la sensazione acustica, è definita la grandezza logaritmica Livello di pressione acustica L , in cui compaiono:

p = valore efficace della pressione acustica

p_0 = valore di riferimento pari a 20 μPa .

Tale grandezza definisce una scala di valori espressi in decibel [dB].

Il valore di riferimento (20 μPa) corrisponde al valore minimo della pressione sonora percepibile dall'orecchio umano (soglia di udibilità) cui corrisponde un livello di pressione $L = 0$ dB.

Il valore massimo della pressione acustica sopportabile è dell'ordine di 200 Pa (soglia del dolore) cui corrisponde un livello $L = 140$ dB.

Il campo dei valori possibili per il livello di pressione acustica risulta pertanto compreso tra 0 dB e 140 dB

L'intervallo corrispondente alle normali attività umane risulta comunque compreso in un campo ben più limitato (indicativamente 40 - 90 dB).

Livelli di pressione sonora

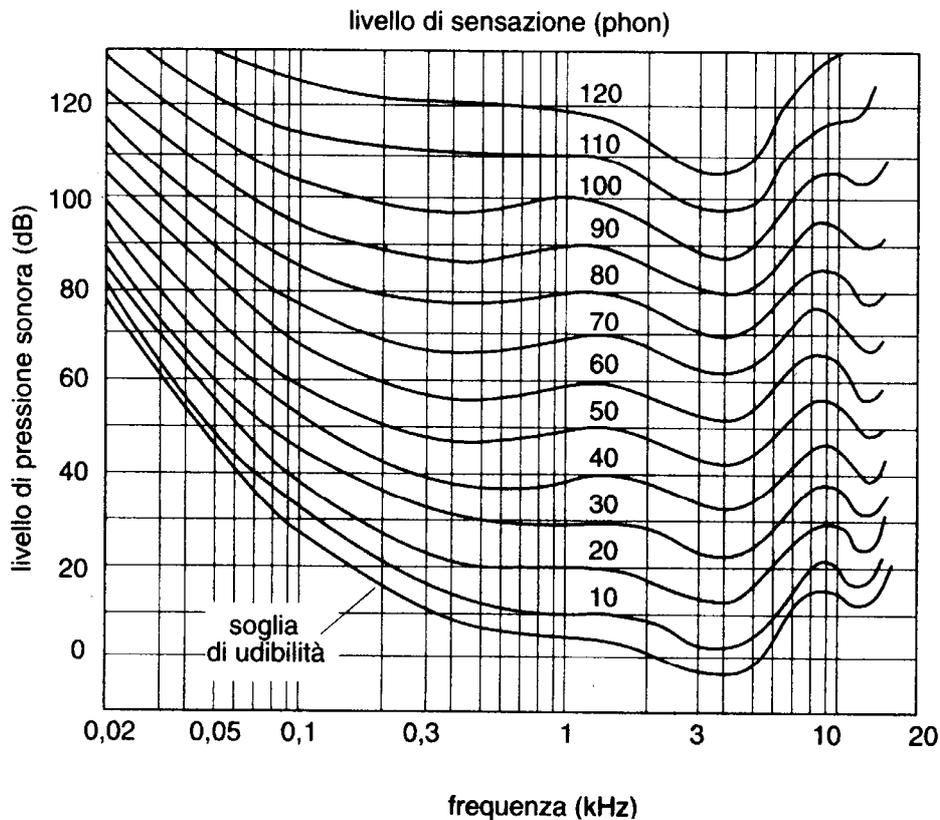
04

Sorgente sonora	pressione sonora [Pa]	livello di pressione sonora [dB(A)]
Razzo "Saturno"	100.000 (1 atm)	194
Jet	2000	160
Soglia del dolore	200	140
Rivettatrice	20	120
Autotreno pesante	2	100
Ufficio rumoroso, traffico pesante	0,2	80
Voce in conversazione	0,02	60
Ufficio, abitazione privata	0,002	40
Studio di registrazione	0,0002	20
Soglia di udibilità	0,00002	0

Il campo dei valori possibili per il livello di pressione acustica risulta compreso tra 0 dB e 140 dB

Nella tabella sono riportati i livelli acustici rilevabili in alcune situazioni tipiche.

Si può notare che, escludendo le situazioni limite, l'intervallo corrispondente alle normali attività umane risulta compreso in un campo ben più limitato (indicativamente 40 - 90 dB)



La sensibilità dell'orecchio umano, sollecitato da toni puri, è compresa nell'intervallo convenzionale da 20 Hz a 20 kHz. In tale intervallo la sensazione sonora dipende sensibilmente dalla frequenza.

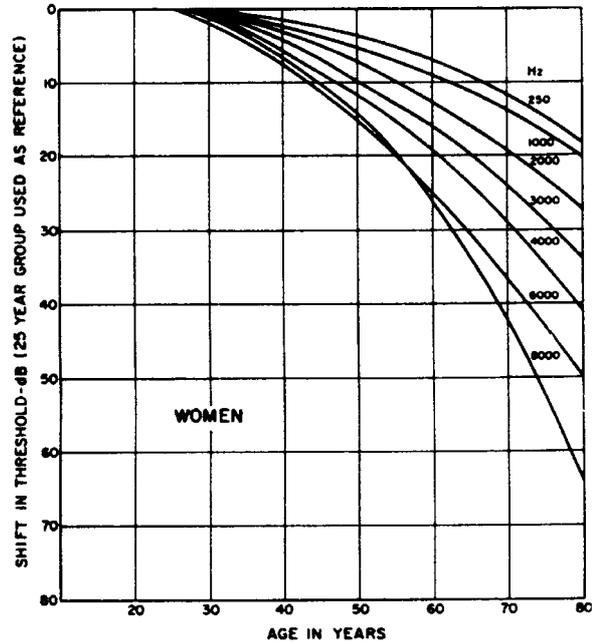
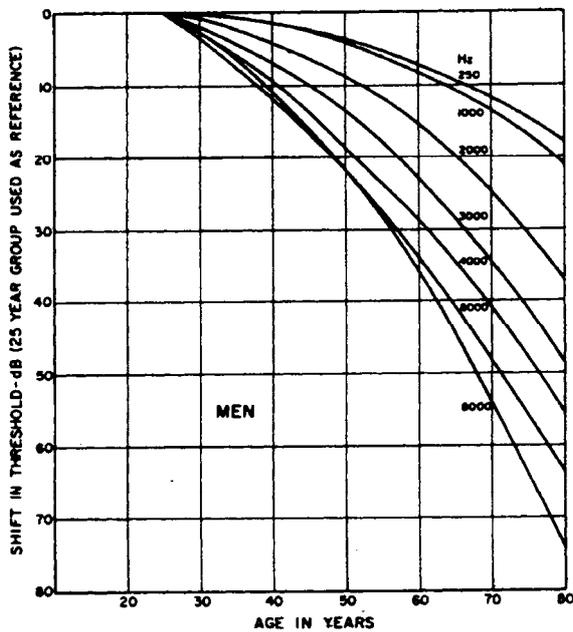
Operando sperimentalmente su di un gran numero di soggetti sani di 25 anni di età sono state definite curve rappresentative della uguale sensazione sonora al variare della frequenza. L'insieme di tali curve dette **isofoniche** costituiscono l'**Audiogramma normale**.

Ogni curva isofonica, o di ugual sensazione, è caratterizzata da un valore, espresso in phon, valutato assumendo il valore che presenta il livello di pressione sonora, espresso in decibel, alla frequenza di riferimento di 1 kHz e che fornisce la stessa sensazione sonora.

Risulta così definita una nuova unità di misura psicofisica, il **phon**, in grado di esprimere la sensazione sonora dell'orecchio umano al variare della frequenza del segnale acustico.

Si osserva che le isofoniche:

1. Dipendono dalla frequenza tanto meno quanto più elevato è il loro livello
2. Presentano un minimo assoluto nell'intorno della frequenza $f = 3000 \div 4000$ Hz
3. Presentano un massimo locale nell'intorno della frequenza $f = 8000 \div 9000$ Hz



I grafici riportati rappresentano la perdita di potere uditivo dell'uomo a causa dell'invecchiamento.

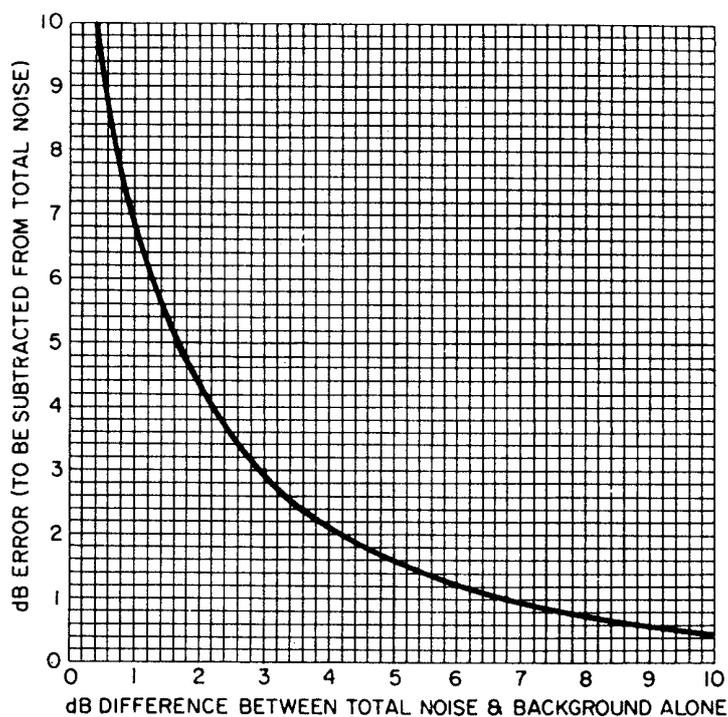
Le curve tracciate indicano per le varie frequenze la differenza effettiva di livello sonoro tra un individuo di X anni ed uno di 25 anni a parità di sensazione acustica.

Le curve relative al genere maschile presentano una pendenza maggiore rispetto al genere femminile . Questo è sempre più evidente passando dalle basse alle alte frequenze.

Rumore di fondo

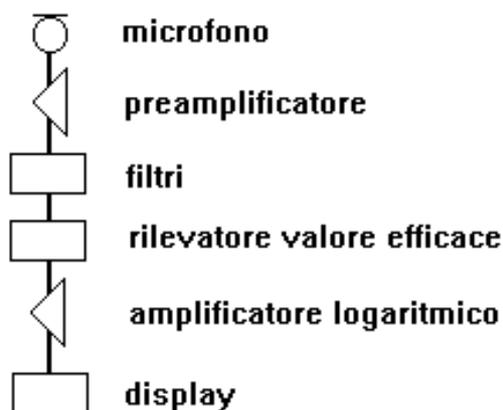
Correzione sul valore del rumore totale

07



Data una situazione acustica nella quale si individua un “rumore totale” determinato da un rumore prodotto da una specifica sorgente che si sovrappone ad un rumore “di fondo”, che non è eliminabile in fase di misura, è possibile, in prima approssimazione, stimare il livello di pressione acustica dovuto al solo rumore specifico operando una “sottrazione” in termini energetici del rumore di fondo dal rumore totale utilizzando opportunamente gli algoritmi di definizione dei livelli sonori.

Il diagramma riportato fornisce direttamente in ordinata la correzione (diminuzione) che deve essere apportata al livello del rumore “totale” in funzione della differenza tra i livelli del “rumore totale” e del “rumore di fondo” misurati.



Il fonometro misura il livello di pressione acustica che incide sul microfono e fornisce sull'indicatore analogico o digitale il corrispondente valore del livello di pressione acustica direttamente espresso in decibel.

Il microfono trasduce il segnale di pressione in un segnale elettrico

Il segnale viene amplificato e filtrato. I filtri possono essere di quattro tipi:

1. A
2. B
3. C

4. All Pass oppure Linear (Quest'ultimo lascia invariato il segnale elettrico)

Essi tengono conto della sensibilità dell'orecchio umano e rendono il segnale simile a quello che sarebbe percepito da una persona. Per questo se sono attivati i decibel in lettura sono diversi da quelli fisici effettivi.

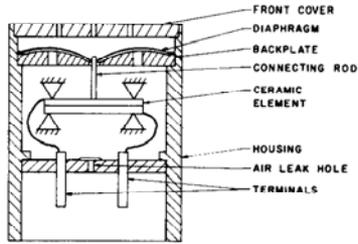


Fig. 1
Microfono ceramico

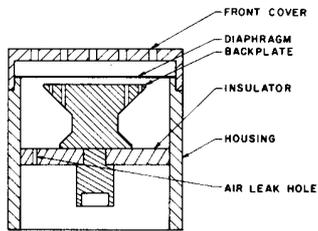


Fig. 2
Microfono a condensatore
(dielettrico aria)

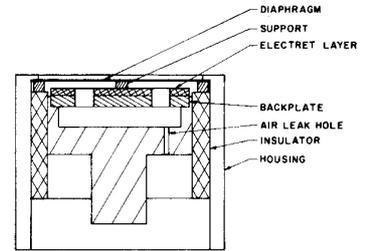
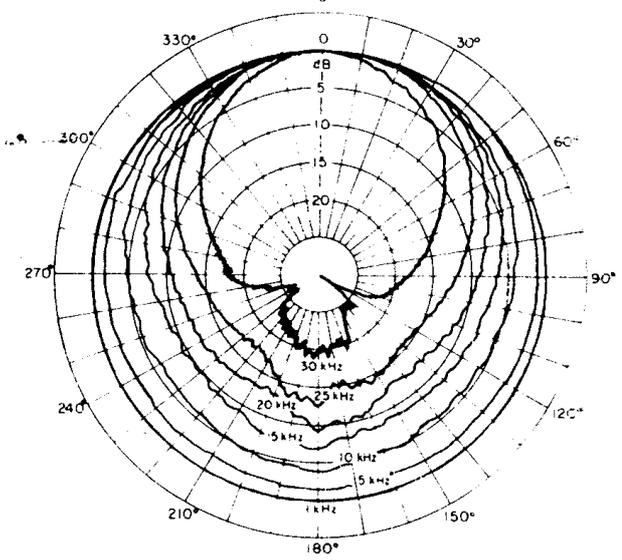
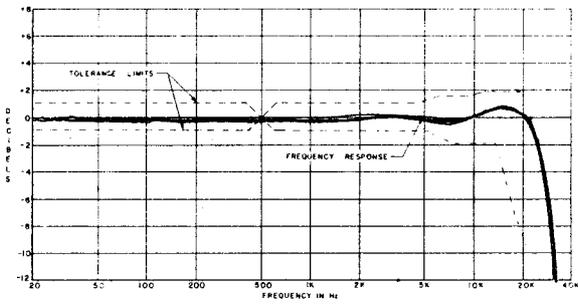
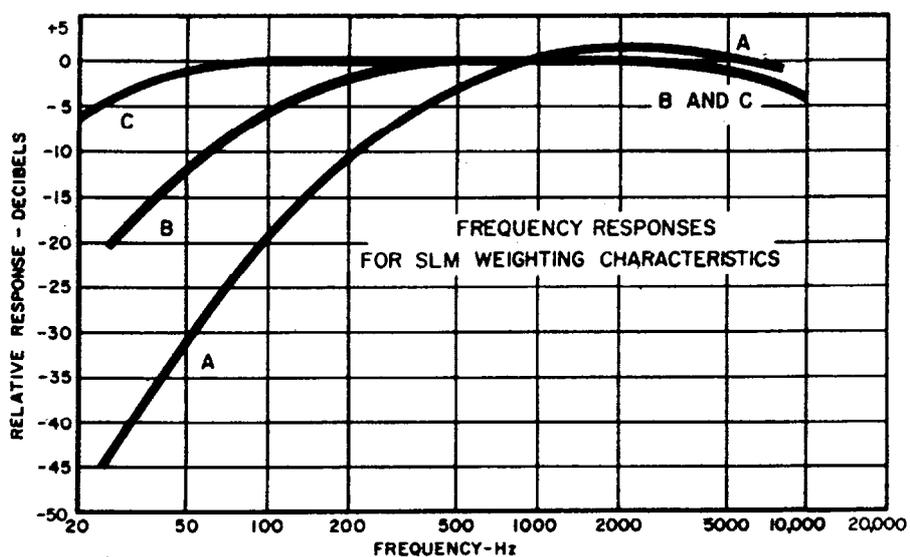


Fig. 2
Microfono a condensatore
(dielettrico elettreta)

Microfono risposta in frequenza

10





Per adeguare la sensibilità del fonometro alle caratteristiche dell'orecchio umano sono stati introdotti filtri di pesatura denominati A, B e C che riproducono la risposta del sistema uditivo rispettivamente ai bassi, medi ed alti livelli sonori.

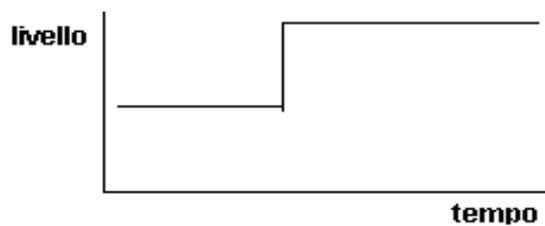
Attualmente viene impiegato esclusivamente il filtro A. Il livello misurato con tale filtro viene indicato :

dB(A) o dBA o dB_A.

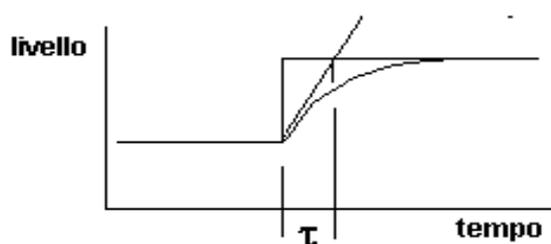
Fonometro

12

Costante di tempo del rilevatore



variazione a gradino del segnale sonoro

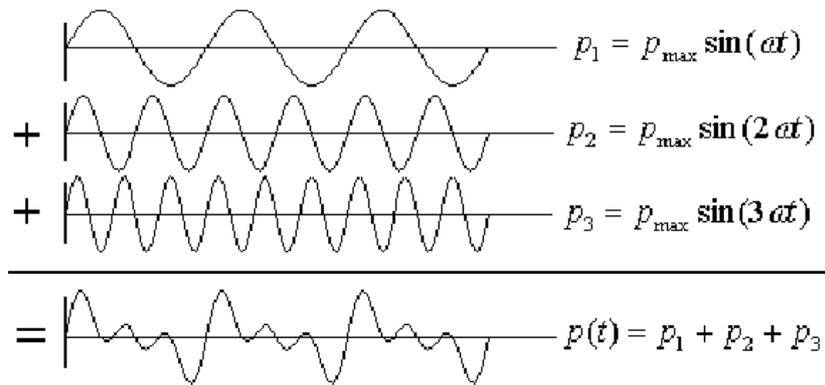


risposta del rilevatore del fonometro

La pressione sonora è generalmente caratterizzata da rapide variazioni temporali (come ad esempio in presenza di rumori impulsivi), conseguentemente l'indicazione del fonometro dipende dalla rapidità di risposta del circuito di rilevazione.

Sono stati normalizzati alcuni tempi di risposta τ , ad una variazione a gradino del segnale, ai quali corrispondono le costanti di misura denominate:

SLOW	$\tau = 500 \text{ ms}$
FAST	$\tau = 125 \text{ ms}$
IMPULSE	$\tau = 35 \text{ ms}$
PEAK	$\tau = 25 \text{ }\mu\text{s}$



Dato un suono costituito da un tono puro caratterizzato da una determinata frequenza si definiscono suoni armonici quei segnali caratterizzati da frequenze multipli della frequenza del suono fondamentale.

Un suono, quale quello prodotto da uno strumento musicale, consiste generalmente dalla sovrapposizione (somma dei segnali) di un tono puro e di altri toni puri ad esso armonicamente correlati.

Ottave e terzi di ottava normalizzate

Bande	Frequenza Hz					
	ottava			1/3 di ottava		
	Taglio inferiore	centrale	Taglio superiore	Taglio inferiore	centrale	Taglio superiore
12	11	16	22	14,1	16	17,8
13				17,8	20	22,4
14				22,4	25	28,2
15	22	31,5	44	28,2	31,5	35,5
16				35,5	40	44,7
17				44,7	50	56,2
18	44	63	88	56,2	63	70,8
19				70,8	80	89,1
20				89,1	100	112
21	88	125	177	112	125	141
22				141	160	178
23				178	200	224
24	177	250	355	224	250	282
25				282	315	355
26				355	400	447
27	355	500	710	447	500	562
28				562	630	708
29				708	800	891
30	710	1'000	1'420	891	1'000	1'122
31				1'122	1'250	1'413
32				1'413	1'600	1'778
33	1'420	2'000	2'840	1'778	2'000	2'239
34				2'239	2'500	2'818
35				2'818	3'150	3'548
36	2'840	4'000	5'680	3'548	4'000	4'467
37				4'467	5'000	5'623
38				5'623	6'300	7'079
39	5'680	8'000	11'360	7'079	8'000	8'913
40				8'913	10'000	11'220

Ottava - banda di ottava:

La banda audio da 20 Hz a 20 kHz è suddivisa in ottave, ciascuna ottava è caratterizzata da una frequenza inferiore f_i e da una frequenza superiore f_s .

Si definisce ottava un qualsiasi intervallo di frequenze per il quale $f_s = 2 f_i$

La frequenza di centro banda f_c corrisponde alla media geometrica dei valori f_i e f_s e cioè:

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

Sono state normalizzate le ottave corrispondenti alle frequenze di centro banda pari a:

31.5 63 125 250 500 1000 2000 4000 8000 16000 [Hz]

L'intera banda audio risulta pertanto suddivisa in 10 bande di ottava.

Frazioni di Ottava:

L'ottava può essere ulteriormente suddivisa in mezzi di ottava, terzi di ottava ed anche decimi di ottava, ottenendo così un maggiore frazionamento della banda audio. Nel caso dei terzi di ottava l'intervallo 20 Hz - 20 kHz risulta conseguentemente suddiviso in 30 bande in terzi di ottava.

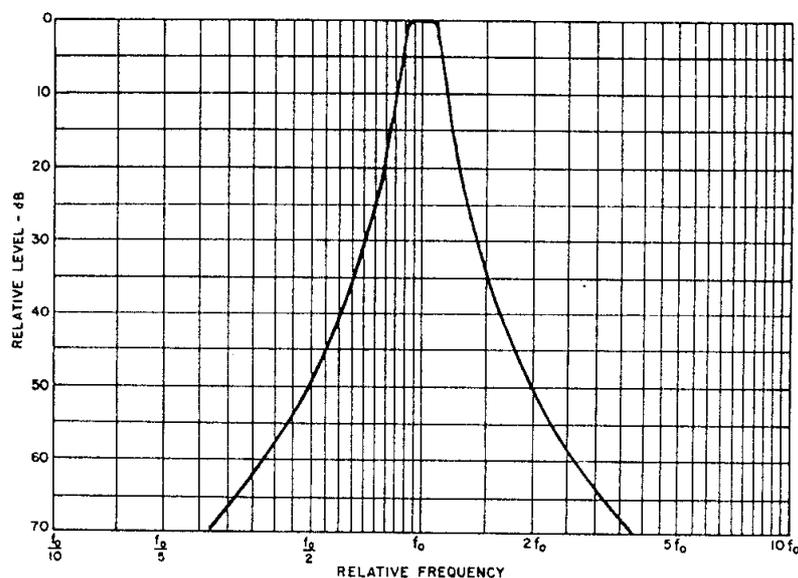
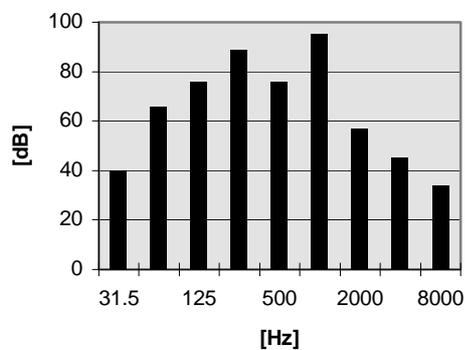


Figure 6-4. One-third-octave filter characteristics.

Filtri per analisi spettrale:

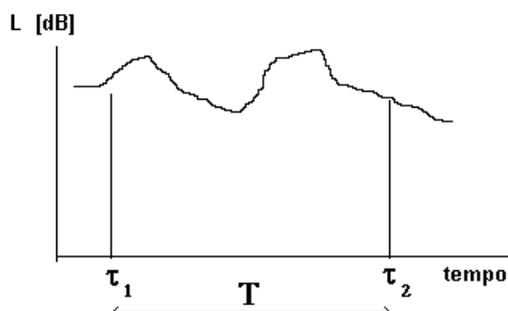
I fonometri *analizzatori* sono dotati di filtri elettronici (in banda di ottava o terzi di ottava) e permettono di rilevare singolarmente i segnali acustici con frequenze comprese nelle rispettive bande.

Un esempio della curva di attenuazione di un filtro in terzi di ottava è riportato sopra.



Se si misura il segnale acustico utilizzando in successione più filtri in ottava o in terzi di ottava è possibile ottenere uno *spettro* del rumore che ne individua le componenti alle varie frequenze.

Sono disponibili strumenti fonometrici che permettono tale analisi *in tempo reale*.



Il segnale acustico raramente è stazionario pertanto il valore indicato dal fonometro è variabile nel tempo.

Per valutare sinteticamente tali situazioni acustiche si è reso necessario individuare un unico parametro significativo del segnale misurato in un dato intervallo di tempo.

A tale scopo è stato introdotto il **livello acustico equivalente** L_{eq} definito in termini di pressione dall'integrale:

$$L_{eq} = 10 \log \frac{1}{T} \int_{\tau_1}^{\tau_2} \frac{p^2}{p_0^2} d\tau$$

ove p rappresenta la pressione sonora variabile nel tempo, p_0 il valore di riferimento pari a $20 \mu\text{Pa}$ e T il tempo di integrazione.

In termini di livello di pressione acustica L_{eq} è espresso dalla relazione:

$$L_{eq} = 10 \log \frac{1}{T} \int_{\tau_1}^{\tau_2} 10^{\frac{L}{10}} d\tau$$

ove L rappresenta il livello di pressione acustica variabile nel tempo.

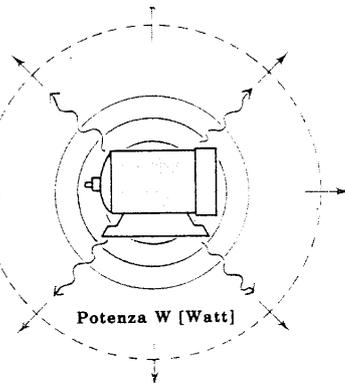
Il livello equivalente, così definito, corrisponde al livello di pressione acustica che, mantenuto costante nell'intervallo temporale di misura, **equivale**, in termini di energia sonora, al livello variabile rilevato nello stesso intervallo di tempo.

I fonometri **integratori** forniscono automaticamente, per mezzo del suddetto algoritmo, il livello equivalente L_{eq} in prefissati intervalli di misura

Potenza sonora
Superficie di integrazione

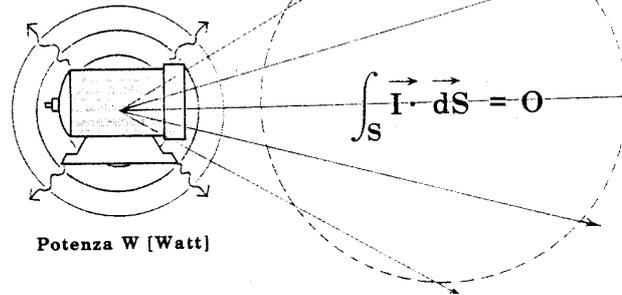
Sorgente racchiusa dalla superficie di misura

$$\int_S \vec{I} \cdot d\vec{S} = W$$



Sorgente non racchiusa dalla superficie di misura

$$\int_S \vec{I} \cdot d\vec{S} = 0$$



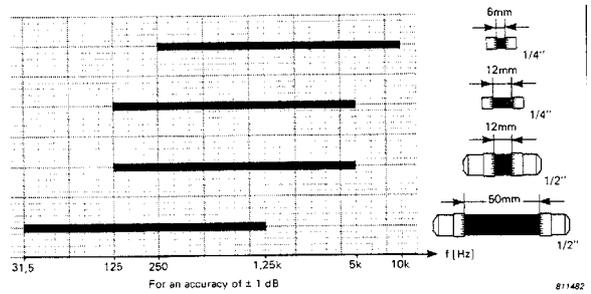
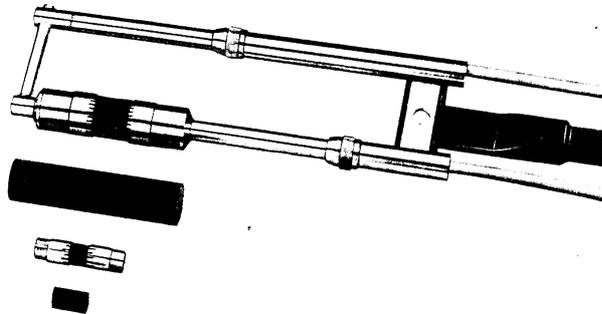
L'integrazione del vettore intensità sonora estesa ad una superficie nello spazio che racchiude una sorgente sonora fornisce la potenza sonora totale irradiata dalla sorgente.

Se la sorgente sonora è esterna alla superficie di integrazione, la potenza sonora, risultato dell'integrazione, sarà nulla.

Il rumore di fondo proveniente da una sorgente esterna alla superficie di integrazione, fornirà un contributo nullo alla valutazione della potenza sonora della sorgente racchiusa all'interno della stessa superficie.

I segnali acustici dovranno ovviamente essere *stazionari* durante le operazioni di integrazione.

Sonda Intensimetrica



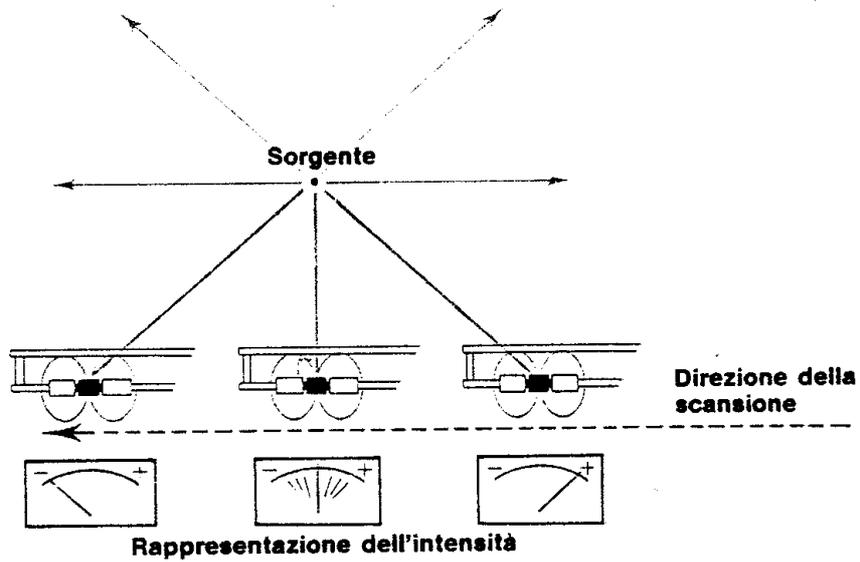
Le sonde intensimetriche possono variare la distanza tra i due microfoni per mezzo di distanziali.

A ciascuna distanza tra i microfoni corrisponde un intervallo di frequenze per il quale la sonda risulta adeguata alla misura dell'intensità sonora.

Potenza sonora

Direzionalità della sonda intensimetrica

20

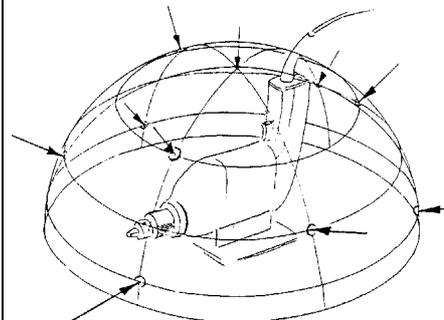
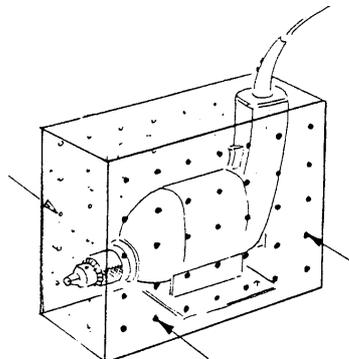
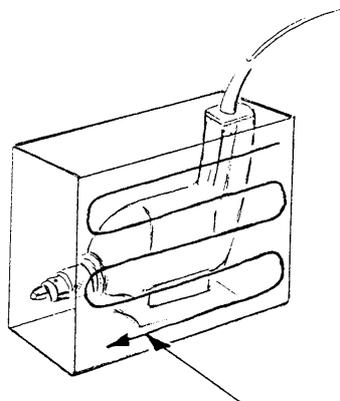


La direzionalità della sonda intensimetrica permette di localizzare la sorgente: il segnale è infatti nullo quando la direzione che individua la sorgente risulta perpendicolare all'asse della sonda.

Potenza sonora

Integrazione spaziale del vettore intensità acustica

21



L'integrale spaziale del vettore intensità acustica può essere ottenuto per approssimazione secondo due tecniche in uso:

Misurazione a scansione della superficie

Muovendo la sonda intensimetrica lungo un percorso ideale tracciato su di ogni elemento della superficie totale (tecnica della *verniciatura*) ed integrando il segnale temporalmente si ottengono valori medi caratteristici di ogni elemento che opportunamente sommati forniscono il valore della potenza sonora.

Misurazione in punti distinti

Si definisce un reticolo di punti equispaziati sulla superficie; in ciascuno di questi punti sono effettuate le misure dell'intensità sonora che, moltiplicate per le aree delle corrispondenti superfici e sommate, forniscono il valore della potenza sonora.

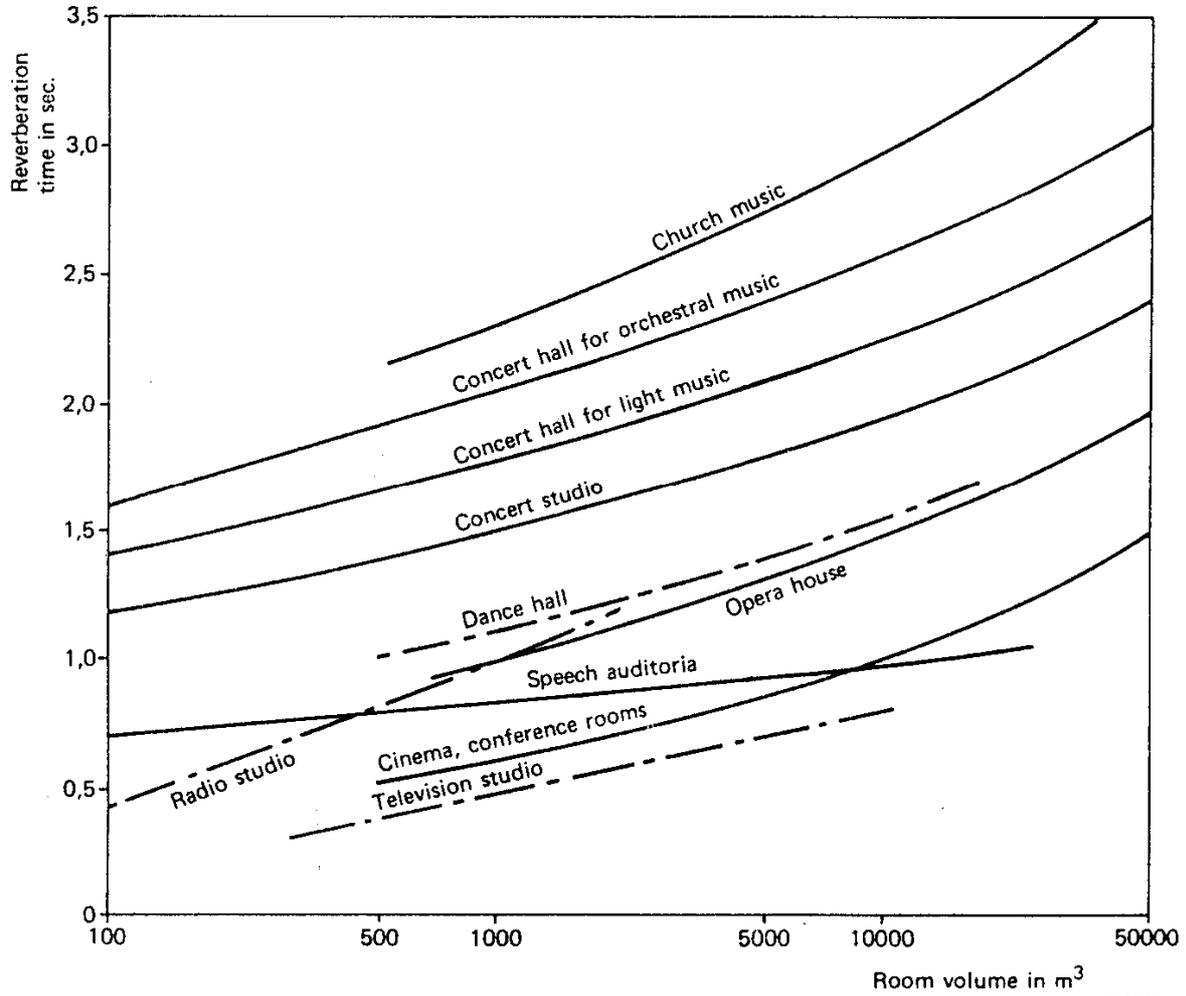
Coefficiente di assorbimento acustico

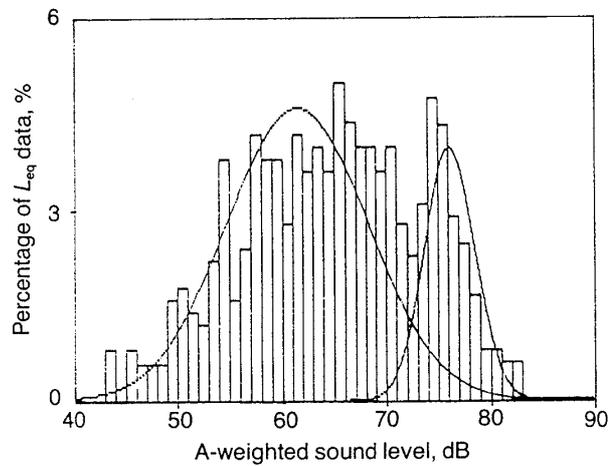
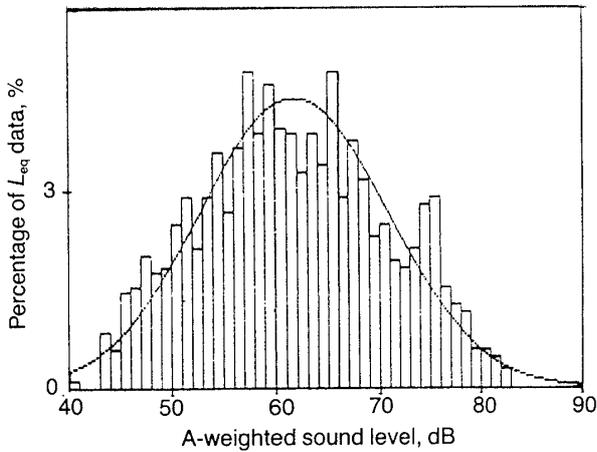
22

Materiali	Coefficiente di assorbimento α_s					
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Intonaco liscio su muratura o calcestruzzo	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04
Soffitto sospeso in gesso liscio	0,25	0,2	0,1	0,05	0,05	0,1
Rivestimenti di muri con pannelli vibranti su listellatura di 5 cm, distanza tra listelli 70 cm						
Compensato 7 mm con dietro materiale poroso	0,5	0,25	0,15	0,05	0,05	0,10
Legno 16 mm con dietro materiale poroso	0,35	0,20	0,10	0,05	0,05	0,10
Legno 16 mm senza materiale poroso	0,20	0,10	0,05	0,05	0,05	0,10
Rivestimento per pavimenti incollato (legno, sughero, gomma)	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,1
Pavimento di legno su listelli	0,20	0,15	0,10	0,10	0,05	0,10
Tappeto di medio spessore	0,05	0,08	0,20	0,30	0,35	0,40
Finestre chiuse	0,10	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02
Coefficienti di assorbimento tipici di pannelli acustici che si trovano in commercio						
Pannelli in gesso perforati	0,3	0,5	0,65	0,65	0,5	0,3
Pannelli metallici perforati con dietro materiale poroso	0,3	0,6	0,85	0,85	0,8	0,7
Pannelli di fibre di legno						
- incollati	0,15	0,25	0,40	0,50	0,50	0,40
- su listellatura	0,30	0,50	0,65	0,70	0,70	0,60
Pannelli di fibre minerali						
- incollati	0,15	0,30	0,45	0,50	0,60	0,55
- su listellatura	0,20	0,60	0,90	0,85	0,80	0,85
Rivestimento acustico spruzzato, 10 mm	0,05	0,20	0,40	0,60	0,60	0,50
Area di assorbimento equivalente di persone e di sedie						
	Area di assorbimento in m² per unità					
Persona seduta o in piedi	0,15	0,3	0,5	0,55	0,6	0,5
Orchestra con strumenti su un podio; per ogni persona	0,4	0,8	1,0	1,4	1,3	1,2
Sedili: - in legno	0,01	0,01	0,02	0,03	0,05	0,05
ricoperti di velluto	0,1	0,3	0,35	0,45	0,5	0,4
ricoperti di pelle	0,1	0,25	0,35	0,35	0,2	0,1

Tempo di riverberazione

Valori tipici di sale da spettacolo e auditori





Il livello di pressione sonora, variabile nel tempo, può essere analizzato statisticamente valutando, per discreti intervalli di livello, il tempo totale per il quale il livello sonoro si è mantenuto compreso nei singoli intervalli, ottenendo così una distribuzione di frequenza.

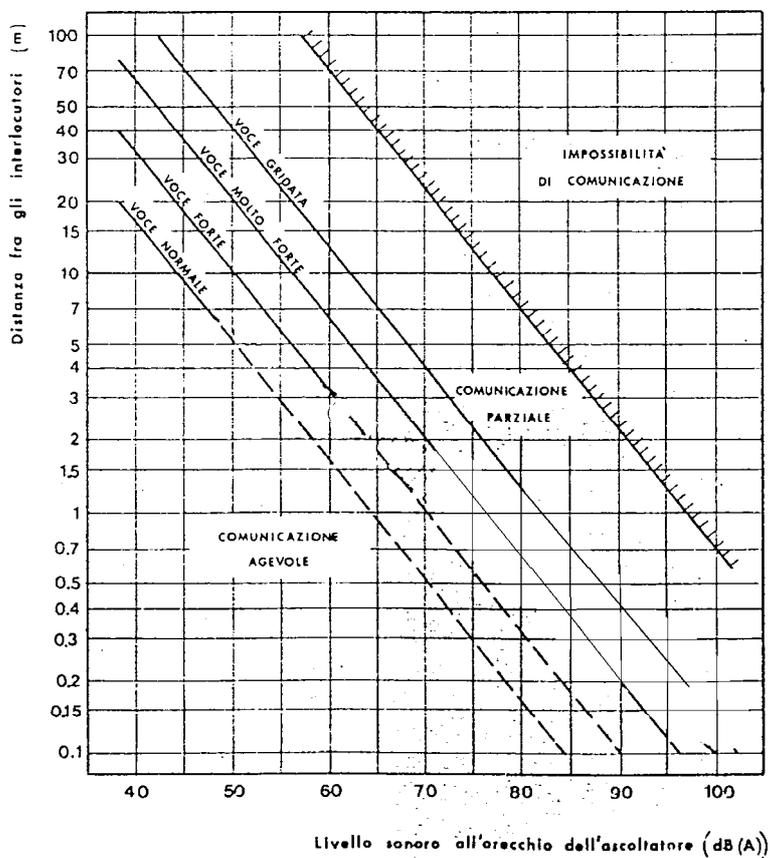
Per rumori ambientali, quali quelli prodotti da traffico veicolare, le distribuzioni presentano spesso curve caratteristiche assimilabili a distribuzioni normali o a sovrapposizione di distribuzioni normali come nelle figure riportate.

E' comunque possibile determinare, per qualsiasi tipo di distribuzione, il livello medio e calcolare lo scarto quadratico della popolazione dei dati, assimilabile, per distribuzioni normali, alla deviazione standard della funzione di distribuzione.

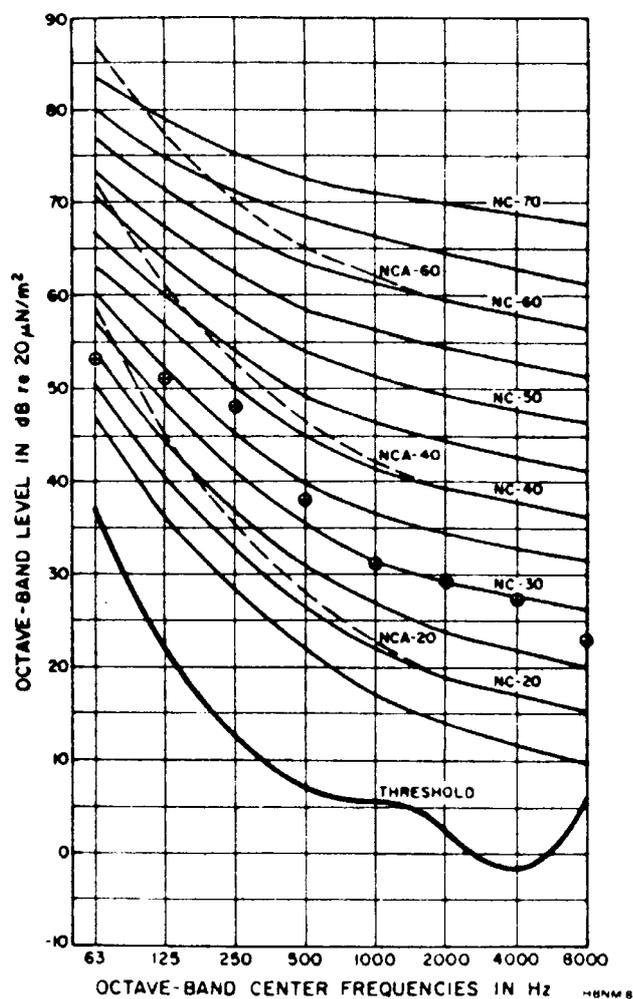
$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (L_i - L_m)^2}{n}}$$

dove L_i è il generico livello ed L_m è il valore medio della distribuzione

Comunicazione vocale
(in presenza di rumore di fondo)



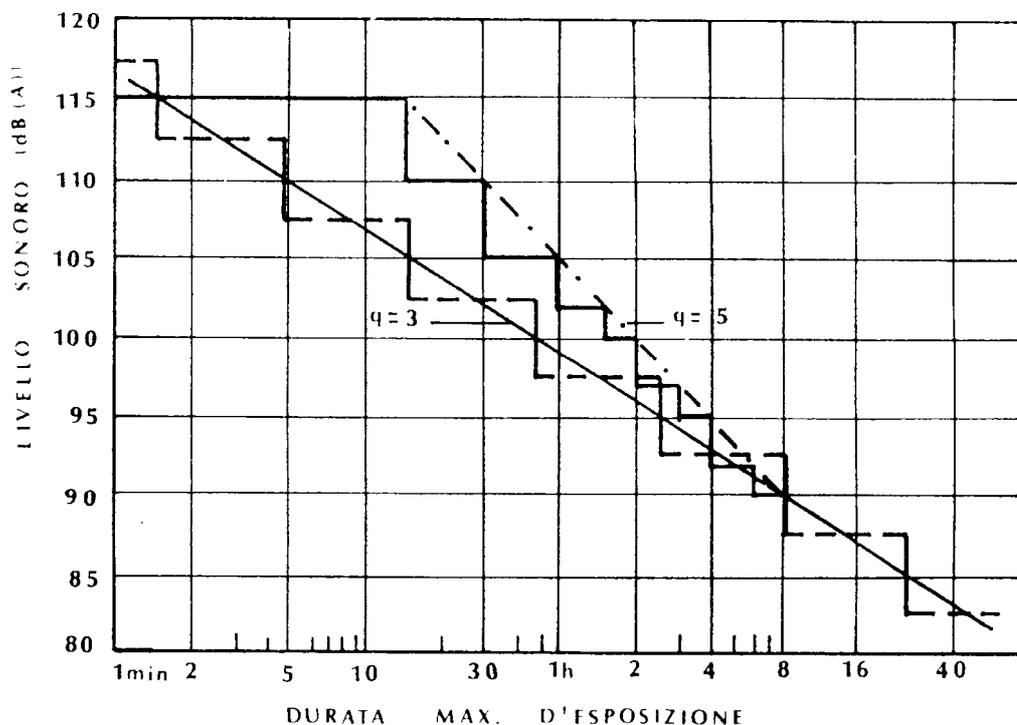
Il diagramma rappresenta i limiti della comunicazione vocale “agevole”, “parziale” o “impossibile” in funzione della distanza tra gli interlocutori (in ascissa) in presenza di rumore di fondo all’orecchio dell’ascoltatore (in ordinata).



Con riferimento ad un grafico normalizzato si individua la curva N.C. rappresentativa del rumore come quella che risulta immediatamente superiore a tutti i punti dello spettro in bande di ottava riportato sul grafico stesso.

Nel caso di presenza di toni puri, quando cioè un valore dello spettro è superiore di 5 dB rispetto ai valori adiacenti, il valore NC verrà maggiorato di 5 dB

Nel casi di presenza di rumori impulsivi il valore NC verrà maggiorato di 5 dB



Normative per la definizione della durata massima dell'esposizione al rumore basate su:

Livello di criterio: Livello massimo ammesso per esposizione di 8 ore/giorno lavorativo (dB A)

Fattore di scambio: "q" incremento del livello per il dimezzamento del tempo di esposizione

Prima normativa (USA) :

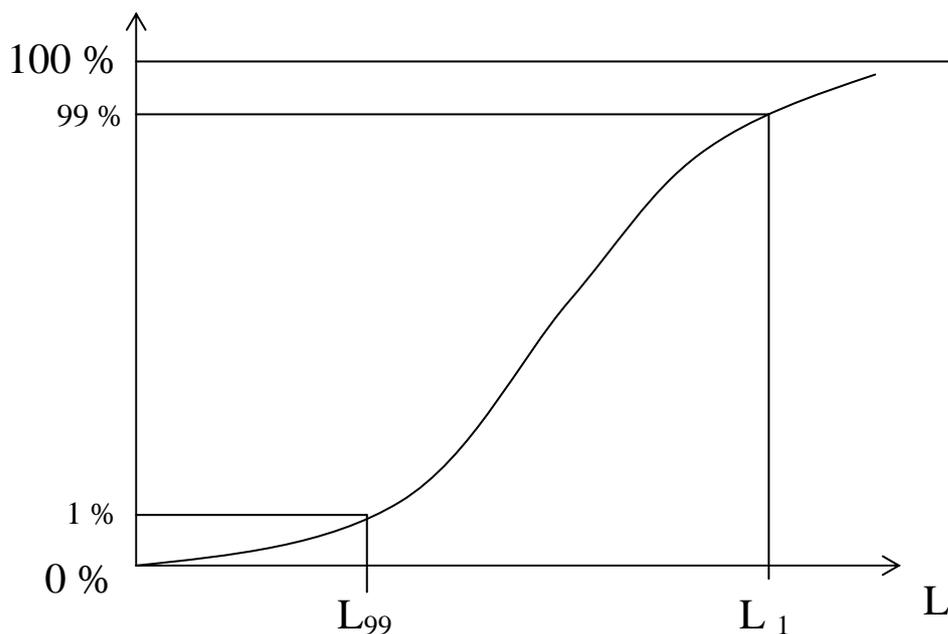
Normativa O.S.H.A. (Occupational Safety and Health Act

Prevede Livello di criterio = 90 dB A e fattore di scambio 5 dB A

I tempi massimi di esposizione risultano:

Livello continuo dB A	Durata massima esposizione
90	8 ore
95	4 ore
100	2 ore
105	1 ora
110	½ ora
115	¼ ora

Altre normative prevedono livello di criterio di 85, 80 dB A e fattori q = 3 oppure 4



L'integrale della funzione di distribuzione della frequenza percentuale del livello sonoro fornisce la curva delle frequenze cumulative che assume l'aspetto indicato in figura.

E' possibile individuare il generico Livello percentile (L_x) o Exceedance Level che rappresenta il livello superato per un intervallo temporale = x % del tempo totale del rilevamento

Sono adottati come significativi i valori:

- L_1
- L_{10}
- L_{50}
- L_{90}
- L_{99} livello di fondo

- Livello Equivalente:

$$L_{eq} = 10 \log \frac{1}{T} \int_{\tau_1}^{\tau_2} 10^{\frac{L}{10}} d\tau$$

- Noise Pollution Level

$$L_{NPL} = L_{eq} + \sigma$$

L_{eq} = livello equivalente

σ = deviazione standard

- Livello Day Night

Day ore 7.00 - 22.00

Night ore 22.00 - 7.00

Livello ottenuto calcolando il livello equivalente somma “energetica” del livello equivalente diurno + livello equivalente notturno incrementato questo di 10 dB.

Speech Interference Level

30

$$S I L = \frac{L_{500} + L_{1000} + L_{2000}}{3}$$

Indice di Interferenza con il parlato

Media aritmetica dei livelli misurati nelle tre bande di ottava 500, 1000, 2000 Hz .

Valori SIL max

Ufficio	45 dB
Sala conferenze	30 dB
Teatro senza amplificazione	30 dB

Impiego del telefono

SIL < 60	Soddisfacente
60 < SIL < 70	Difficile
SIL > 80	Impossibile

$$L_{EPd} = 10 \log \left[\left(\frac{1}{T_e'} \int_0^{T_e'} \frac{p^2(T)}{p_0^2} dT \right) \frac{T_e}{T_0} \right]$$

Livello di esposizione quotidiana

P = pressione acustica pesata in A

T_e' = tempo di integrazione della misura significativa del livello giornaliero

T_e = durata dell'esposizione giornaliera

T_0 = durata della giornata lavorativa pari a 8 ore

Risulta:

$$L_{EPd} = L_{eq} + 10 \log T_e / T_0$$

dove L_{eq} è il livello equivalente nel tempo T_e'

$$SEL = 10 \log \left(\frac{1}{T_{ref}} \int_0^T \frac{p^2(T)}{p_0^2} dT \right)$$

Sound Exposure Level

P = pressione acustica

T_{ref} = tempo di riferimento pari ad 1 secondo

T = tempo di integrazione comprendente l'evento sonoro

L'evento sonoro è determinato dall'intervallo temporale nel quale si rileva il superamento di un opportuno livello di soglia.

Il SEL fornisce il livello che per la durata di 1 secondo corrisponde in termini energetici al livello misurato nel tempo di misura T .

Per un livello costante della durata di 1 secondo risulta:

$$SEL = L_{eq}$$

Per un livello costante della durata T risulta:

$$SEL = L_{eq} + 10 \log T / T_{ref}$$

Per un livello costante della durata di 10 secondi risulta:

$$SEL = L_{eq} + 10$$

ACOUSTIC POWER

POWER (WATTS)	POWER LEVEL (dB re 10 ⁻¹² WATT)	SOURCE
25 TO 40 MILLION	195	SATURN ROCKET
	170	RAM JET TURBO-JET ENGINE WITH AFTERBURNER
100,000	160	TURBO-JET ENGINE, 7000-LB THRUST
10,000	150	4-PROPELLER AIRLINER
1,000	140	
100	130	75-PIECE ORCHESTRA } PEAK RMS LEVELS IN PIPE ORGAN } 1/8 SECOND INTERVALS
10	120	SMALL AIRCRAFT ENGINE LARGE CHIPPING HAMMER
1	110	PIANO } PEAK RMS LEVELS IN BB ¹ TUBA } 1/8 SECOND INTERVALS
0.1	100	BLARING RADIO CENTRIFUGAL VENTILATING FAN (13,000 CFM)
0.01	90	4' LOOM AUTO ON HIGHWAY
0.001	80	VANEAXIAL VENTILATING FAN (1500 CFM) VOICE — SHOUTING (AVERAGE LONG-TIME RMS)
0.0001	70	
0.00001	60	VOICE — CONVERSATIONAL LEVEL (AVERAGE LONG-TIME RMS)
0.000001	50	
0.000,000,01	40	
0.000,000,001	30	VOICE — VERY SOFT WHISPER

Il campo dei valori possibili per il livello di potenza acustica risulta indicativamente compreso tra 30 dB e 180 dB

Nella tabella sono riportati i livelli di potenza rilevabili in alcune situazioni.

temperatura dell'aria [°C]	densità dell'aria ρ in [kg/m ³]	Velocità dell'aria c [m/s]
-10	1.341	325.4
-5	1.316	328.5
0	1.293	331.5
5	1.269	334.5
10	1.247	337.5
15	1.225	340.5
20	1.204	343.4
25	1.184	346.3
30	1.164	349.2

La velocità del suono in un gas considerato perfetto e nell'ipotesi di trasformazioni reversibili isoentropiche è dato da:

$$c = \sqrt{k \frac{p_0}{\rho_0}} = \sqrt{k R T}$$

Con $k = c_p / c_v$ $p_0 =$ pressione $\rho_0 =$ massa volumica $T =$ temp. [K]

Per l'aria risulta :

$$c = 331,5 \sqrt{\frac{t + 273,15}{273,15}} \quad t = \text{temp } [^{\circ}\text{C}]$$

www.renatogiussani.it