

Corso di Acustica

prof. ing. Gino Iannace

e-mail: gino.iannace@unina2.it

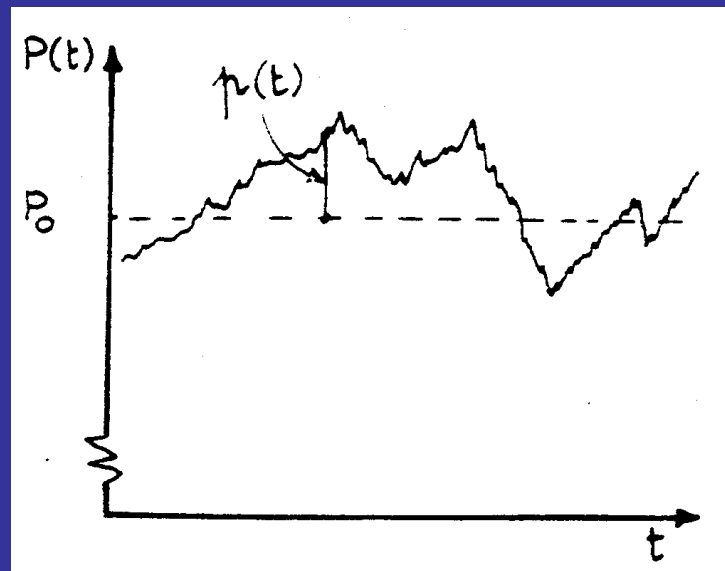
- Il suono è un "rumore sgradevole", "un suono fastidioso, "non desiderato".
- Dal punto di vista fisico, il rumore ed il suono sono la stessa cosa.
- Fattori soggettivi concorrono alla distinzione tra suono e rumore.
- Il rumore ha le caratteristiche di essere non ricercato, non voluto.
- Rumore = suono non gradito

- Questo rende difficile stabilire per legge limiti assoluti o fissare standard minimi a protezione della popolazione e dell'ambiente: l'inquinamento acustico può dipendere da rumori, ma anche da suoni, da quelli che per qualcuno sono suoni e per qualcun altro rumori; per questo la legislazione si occupa di inquinamento acustico e non di rumore.

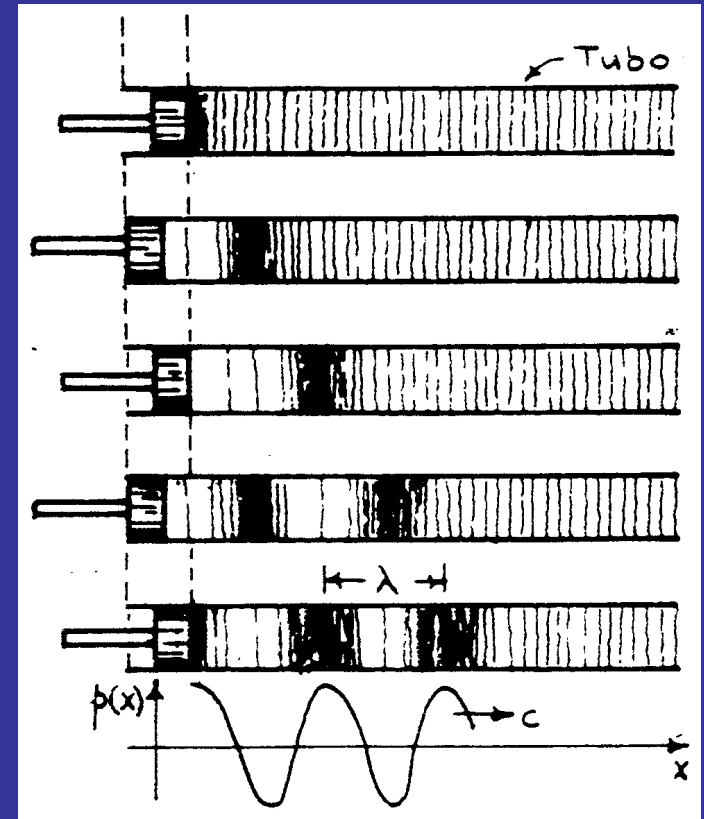
- Il suono è tutto ciò che può essere udito.
- Dal punto di vista fisico può essere definito come la trasmissione di energia attraverso un mezzo elastico sotto forma di vibrazioni.
- Il suono, quindi, è una perturbazione che si propaga in un mezzo elastico (aria).
- è una perturbazione di natura ondosa, si manifesta in un punto di osservazione, a distanza dalla fonte di suono, come una variazione temporale della pressione compressione e rarefazione della pressione atmosferica (pressione statica P_0).

La differenza istantanea tra la pressione totale $P(t)$ e la pressione statica P_0 definisce la pressione sonora istantanea $p(t)$ che è la grandezza fisica di interesse più generale nell'acustica tecnica. La pressione sonora assume valori molto piccoli rispetto alla pressione statica.

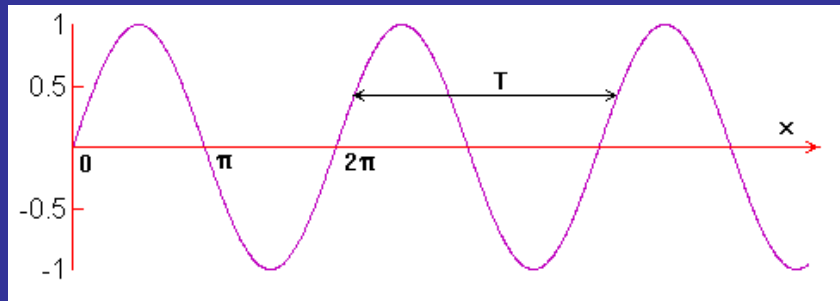
Ad esempio, a 1 m di distanza da una persona che parla, la pressione sonora è di circa 0,1 Pa, valore molto piccolo rispetto alla pressione statica che è dell'ordine di 10^5 Pa.



- Propagazione lungo una sola direzione.
- Il pistone, all'estremità di un tubo, muovendosi verso destra comprime gli strati d'aria ad esso adiacenti.
- Questi a loro volta comprimono quelli successivi dando luogo ad impulso di compressione che viaggia verso l'estremità destra del tubo.
- Si genera un treno continuo di compressioni e rarefazioni che invade via via nel tempo una lunghezza di tubo sempre più grande.



Grandezze acustiche



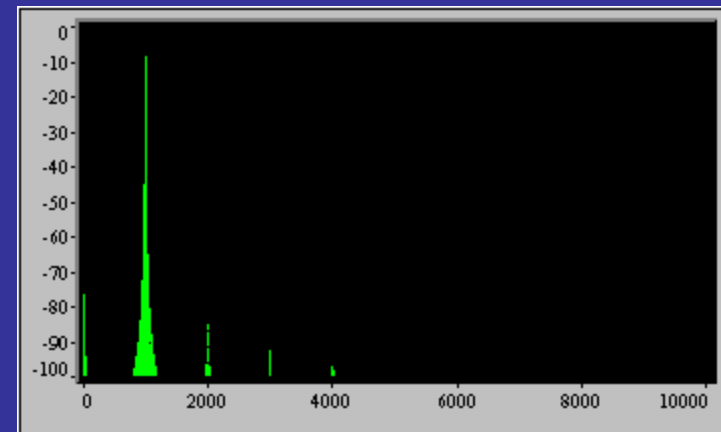
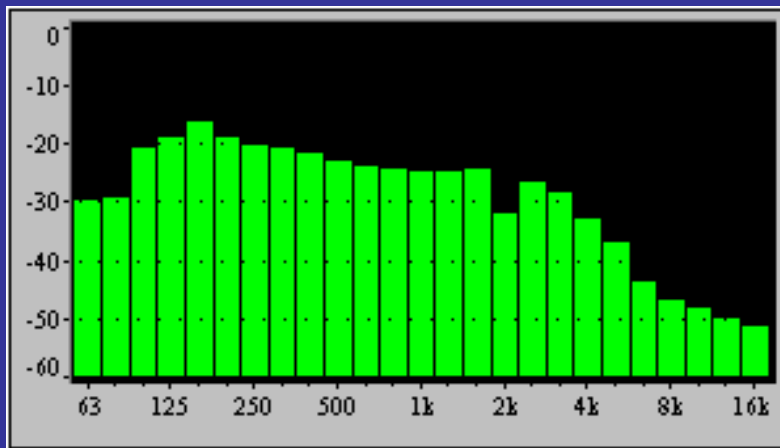
- L'inverso del periodo definisce la frequenza $f = 1/T$ che rappresenta il numero di oscillazioni complete in un secondo; dimensionalmente è un tempo -1 e si misura in Hertz (Hz).
- Frequenza f (Hz), periodo T (s) e lunghezza d'onda λ (m), sono legate dalla relazione:

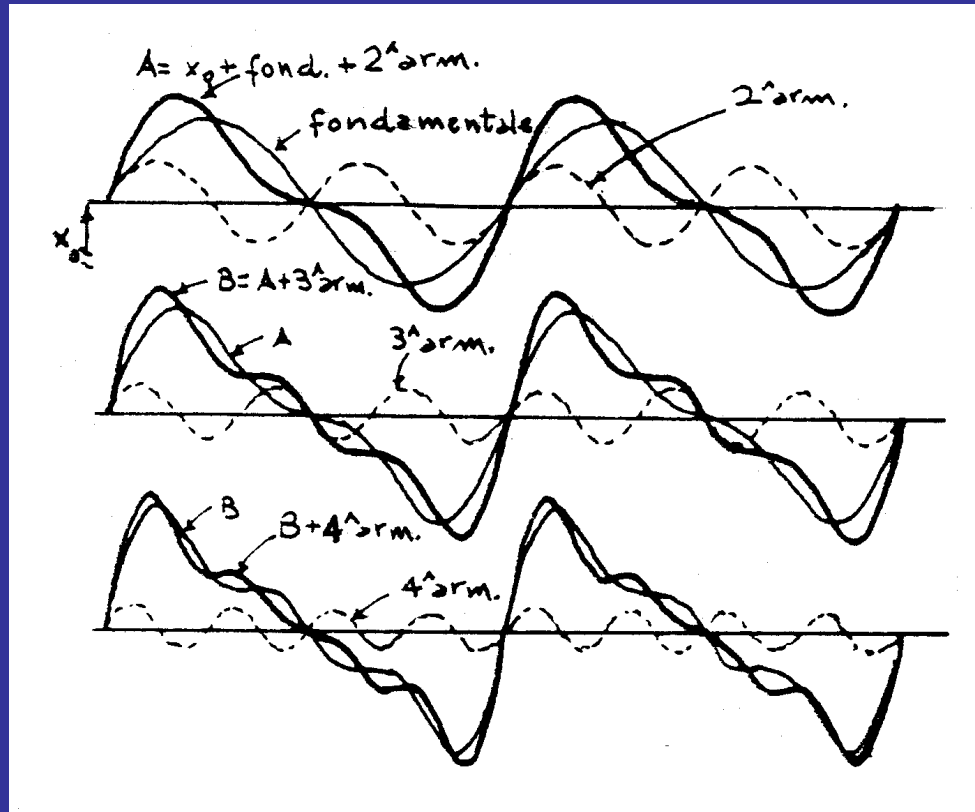
$$c = \lambda f = \lambda / T$$

- dove c (m/s) è la velocità di propagazione, cioè la velocità con cui avanza la superficie di separazione tra la zona del mezzo perturbata e quella non ancora perturbata (fronte d'onda), nell'aria $c = 344$ m/s.

Oltre che nel dominio del tempo, una grandezza acustica può essere descritta nel dominio della frequenza, cioè oltre che in un diagramma ampiezza - tempo la stessa grandezza può essere rappresentata in funzione della frequenza.

Il diagramma delle ampiezze in funzione della frequenza è noto come lo spettro in frequenza (delle ampiezze).





Se consideriamo una sinusoide di ampiezza x_{M1} , frequenza f_1 e fase ϕ_1 e a questa si sommi istante per istante un'altra sinusoide di ampiezza x_{M2} , frequenza $f_2 = 2 f_1$ e fase ϕ_2

Si otterrà una forma d'onda diversa dalla sinusoide.

Si sommi ancora una sinusoide di ampiezza x_{M3} frequenza $f_3 = 3f_1$ e fase ϕ_3 si ottiene ancora una forma diversa.

Appare evidente la possibilità di costruire le forme più svariate di segnali periodici sommando tra loro sinusoidi, di varia ampiezza e fase, la cui frequenza sia un multiplo intero di una frequenza fondamentale.

- Dato un segnale periodico qualsiasi, è possibile pensarlo composto da un certo numero, al limite infinito, di sinusoidi elementari, di opportuna ampiezza e fase, con frequenze in relazione armonica, cioè tutte multipli interi di una frequenza fondamentale, analisi di Fourier FFT.

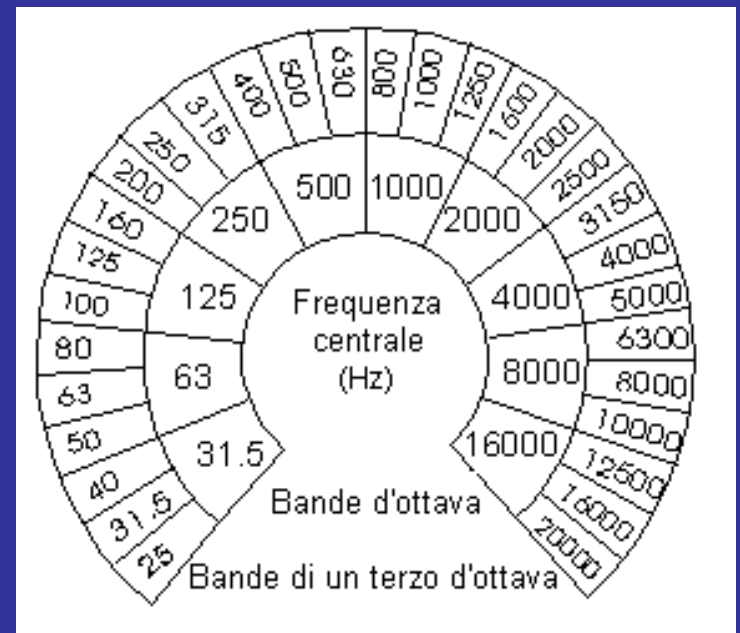
- Per rendere più paragonabili tra loro i dati delle grandezze acustiche in funzione della frequenza, sono state normalizzate a livello internazionale delle bande di filtraggio.
- Le più comuni, che si trovano nella strumentazione disponibile in commercio, sono le bande di 1 ottava e le bande di 1/3 di ottava.
- Per ciascuna banda ottava la frequenza limite superiore f_2 è il doppio di quella limite inferiore f_1 e sussiste la relazione:
$$f_2 < f_c < f_1$$

Centri delle bande ottave

16 – 31,5 – 63 – 125 – 250 –
500 – 1.000 – 2.000 – 4.000 –
8.000 – 16.000

Centri dei terzi di ottava

16 – 20 – 25 - 31,5 – 40 – 50 – 63 -
80 - 100 – 125 - 160 – 200 – 250
- 315- 400 – 500 - 630 – 800 –
1000 – 1250 - 1600 - 2000 - 2500
- 3150 - 4000 - 5000 - 6300 -
8000 – 10000 – 12500 – 16000 -
20000



LIVELLI E SCALA DEI DECIBEL

La pressione sonora, l'intensità sonora, la frequenza e altre grandezze connesse ai suoni udibili assumono valori che si estendono su un campo che copre diverse potenze di 10.

Ad esempio il valore efficace della pressione sonora di un suono appena udibile è dell'ordine di 10^{-5} Pa;

Quello in prossimità di un grosso razzo vettore in partenza è dell'ordine di 10^3 Pa.

Risulta allora comoda una scala di tipo logaritmico che contrae i grandi numeri ed espande i piccoli numeri

Livello della pressione sonora

Il livello della pressione sonora è definito dalla relazione:

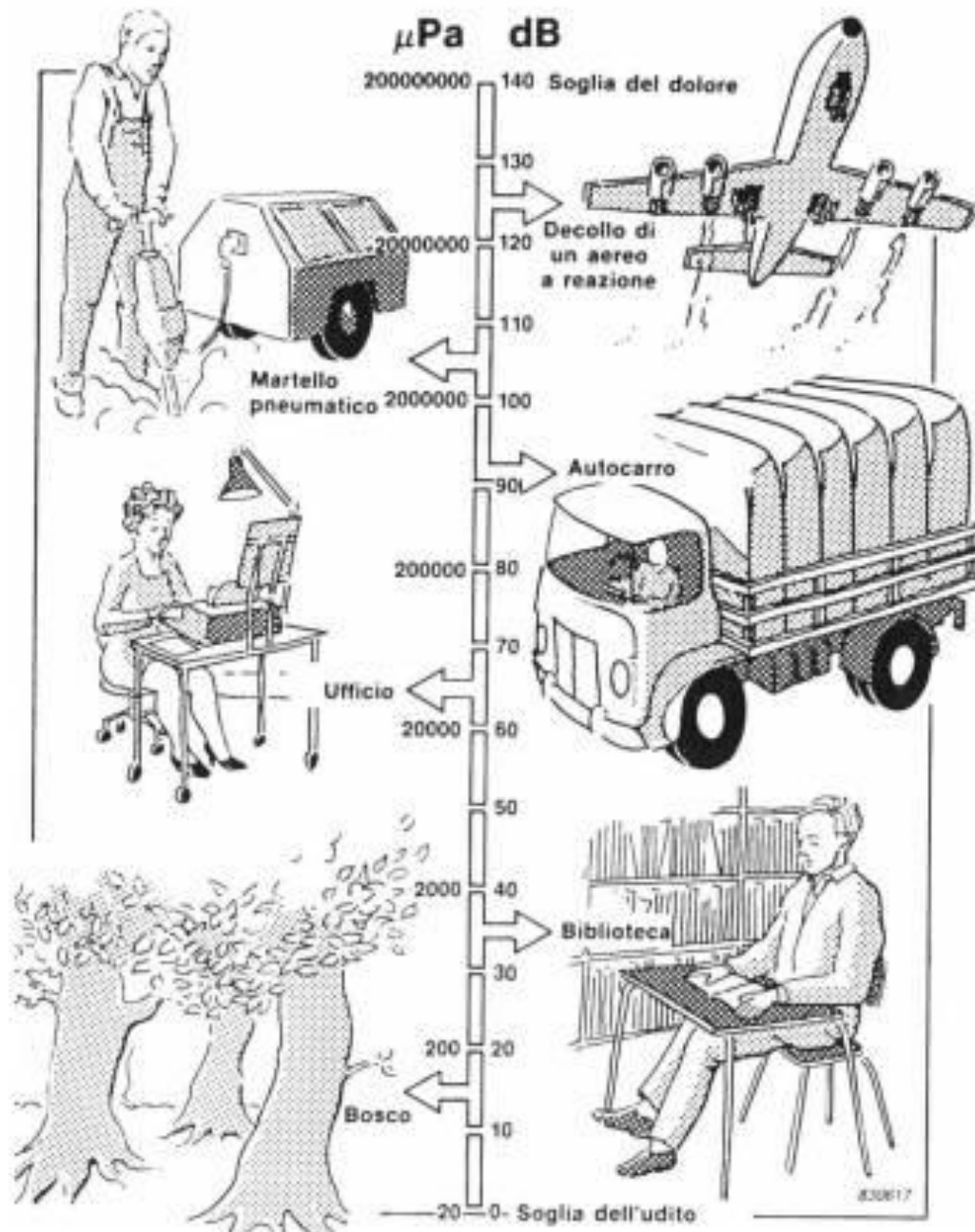
$$L_p = 10 \log_{10} p^2/p_{\text{rif}}^2 = 20 \log p / p_{\text{rif}} \text{ dB}$$

p è il valore efficace della pressione sonora e p_{rif} una pressione sonora di riferimento, $p_{\text{rif}} = 20 \mu\text{Pa}$ ($2 * 10^{-5} \text{ Pa}$).

La pressione $20 \mu\text{Pa}$ rappresenta la soglia di udibilità a 1000 Hz di un individuo medio giovane.

Il livello della pressione sonora è la grandezza più comune, in quanto la maggior parte degli strumenti di misura è sensibile alla pressione sonora.

p, Pa	Lp, dB rif 20 μ Pa	Commenti
2×10^{-5}	0	Soglia uditiva ordinaria
	10	Studio di registrazione ben fonoisolato
2×10^{-4}	20	Orologio da polso
	30	Giardino molto tranquillo
2×10^{-3}	40	Camera di soggiorno tranquilla
	50	Conversazione a circa 1 m
2×10^{-2}	60	Automobile a 10 m
	70	Traffico scorrevole
2×10^{-1}	80	Radio a volume elevato
	90	Industria meccanica, autobus a 5 m
2	100	Rivettaggio lamiera a 5 m
	110	Tuono vicino, artiglieria, tromba auto a 1 m
20	120	Soglia della sensazione uditiva "quasi tattile"
	130	Motore di aereo a 5 m



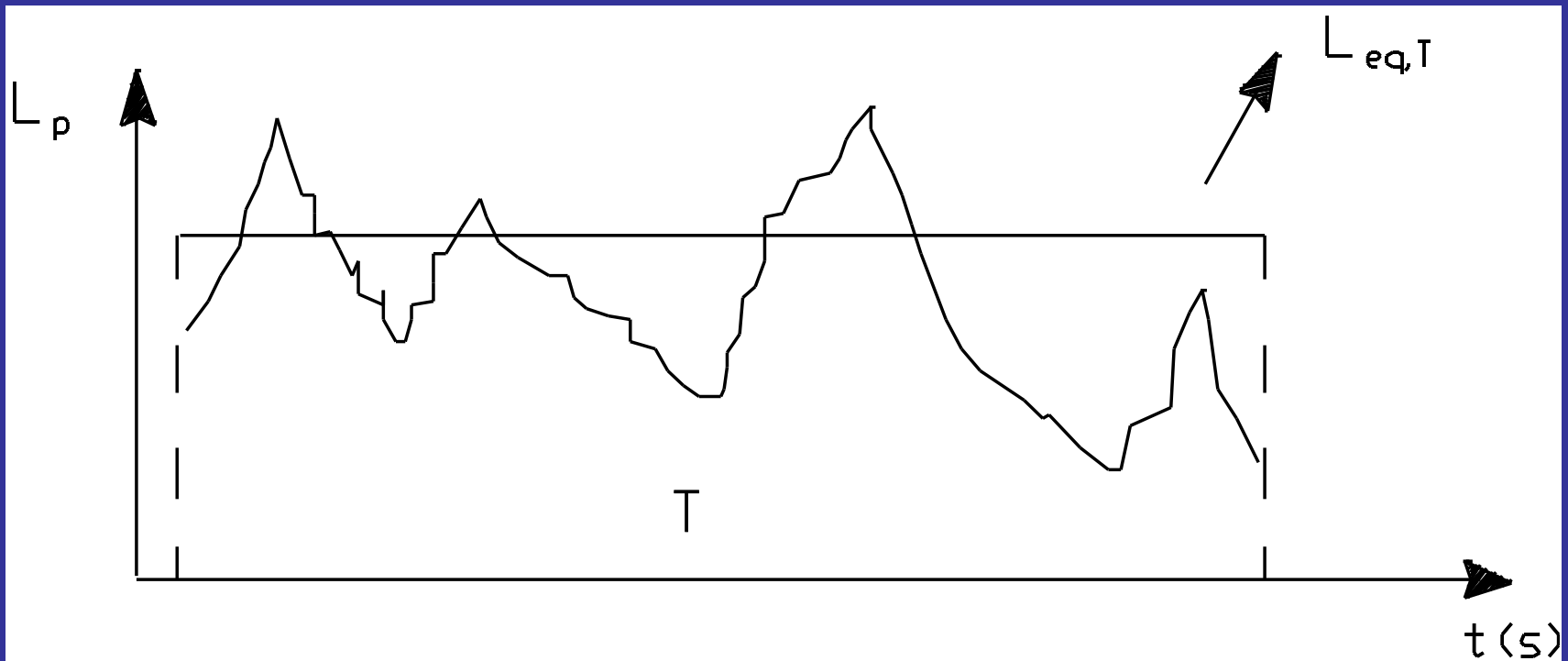
Livello sonoro equivalente

Il livello sonoro equivalente è il livello sonoro di un ipotetico rumore costante che, se sostituito al rumore reale, variabile nel tempo, comporta la stessa quantità di energia sonora.

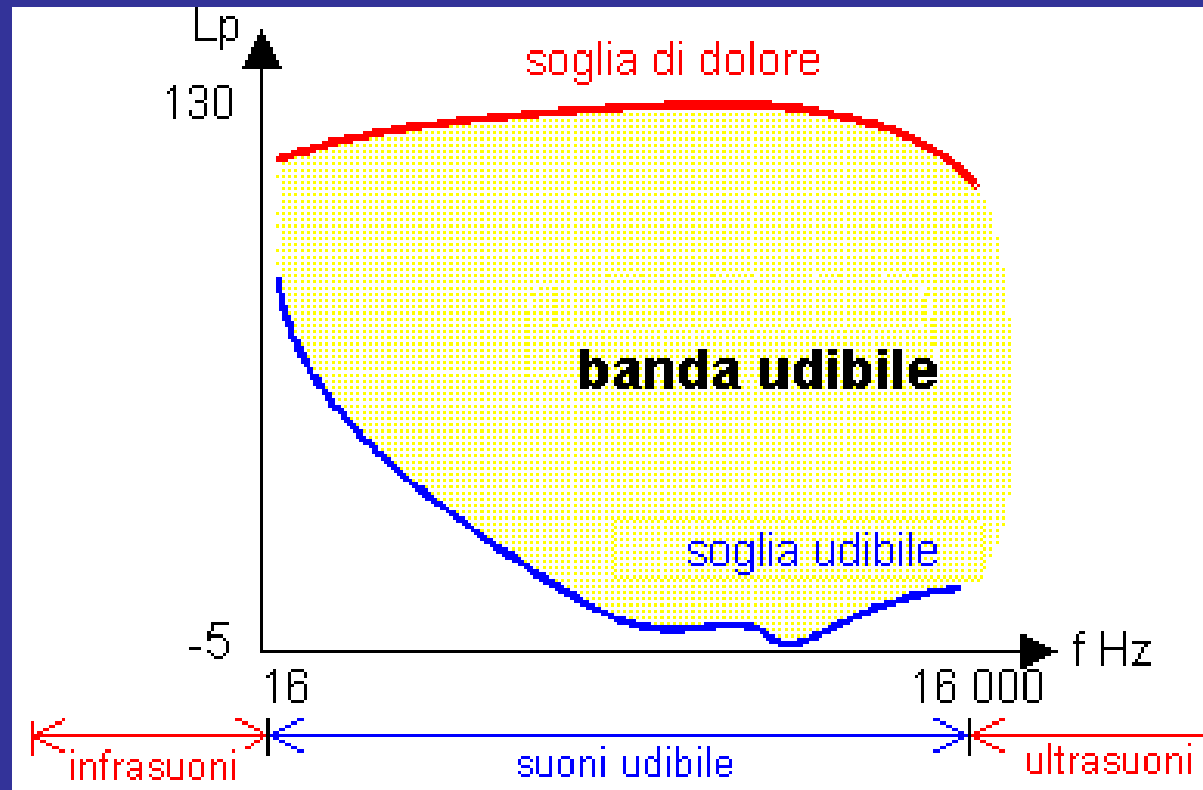
L'aggettivo equivalente sottolinea che l'energia associata al rumore costante e quella del rumore variabile sono uguali, $p(t)$ pressione sonora del rumore in esame, p_0 è la pressione sonora di riferimento e T il tempo totale di osservazione.

$$Leq = 10 \log \left[\frac{1}{T} \int_0^T \frac{p^2(t)}{p_0^2} dt \right] \text{ dB} \quad (18)$$

Livello continuo equivalente della pressione sonora



La sensibilità dell'orecchio è compresa in intervallo
20 Hz - 20.000 Hz



LA SENSAZIONE DI INTENSITA' DEI SUONI E IL MISURATORE DI LIVELLO SONORO

L'intensità soggettiva dei suoni (loudness) è quella attribuzione della sensazione uditiva per il quale un suono viene giudicato più forte o più debole di un altro.

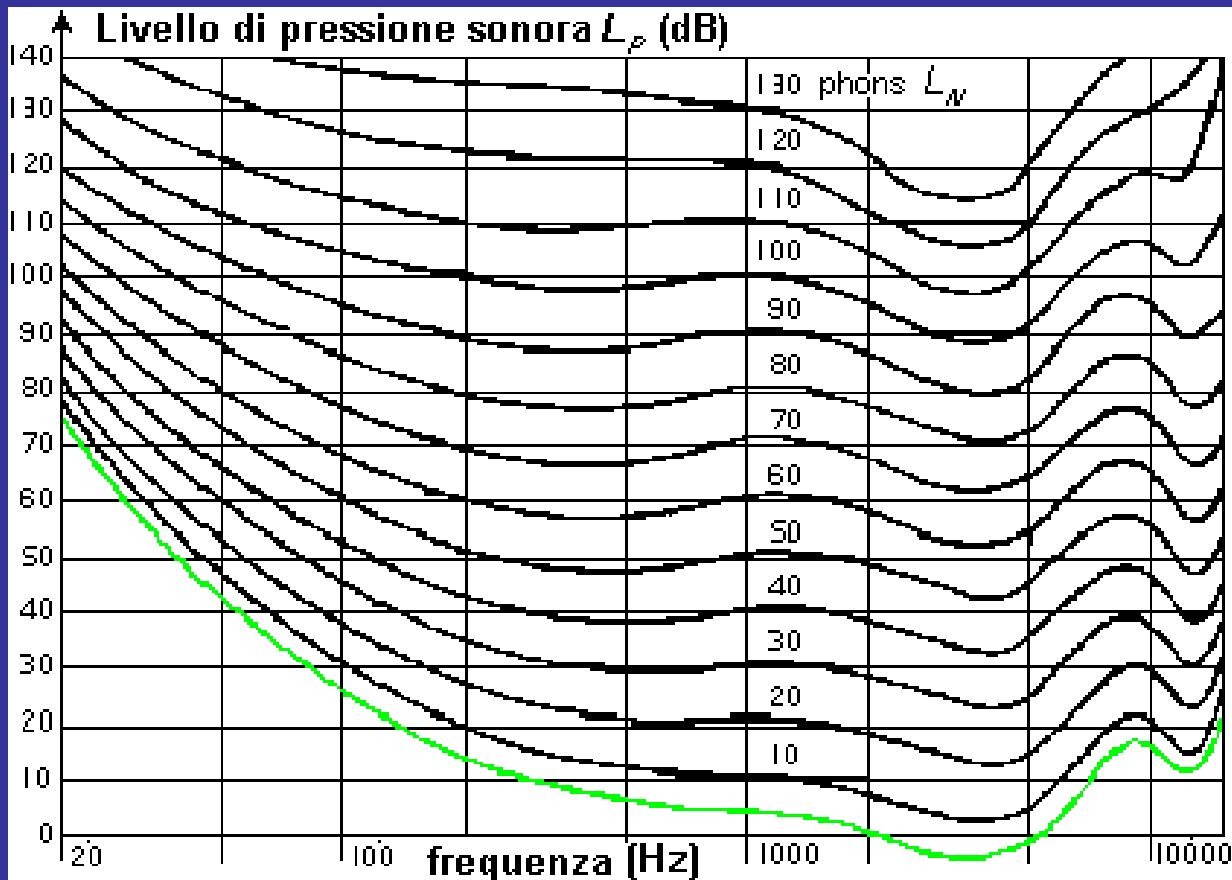
Weber e Fechner trovarono cioè che la sensazione cresce approssimativamente con il logaritmo dell'intensità sonora

Se un suono “a” di riferimento è regolato in modo da dare la stessa intensità di un suono “b” e un suono “c” è regolato per dare la stessa sensazione di intensità di “b”, allora “c” apparirà all’osservatore della stessa intensità di “a”.

E’ stato assunto come suono di riferimento un’onda piana libera progressiva alla frequenza di 1000 Hz.

Un ascoltatore, otologicamente normale, regola l’ampiezza della pressione di riferimento, che proviene dalla direzione frontale, finché la giudica di intensità uguale a quella del suono in esame.

Il livello della pressione sonora del tono puro di 1000 Hz in queste condizioni è la misura dell’intensità soggettiva del suono in esame .



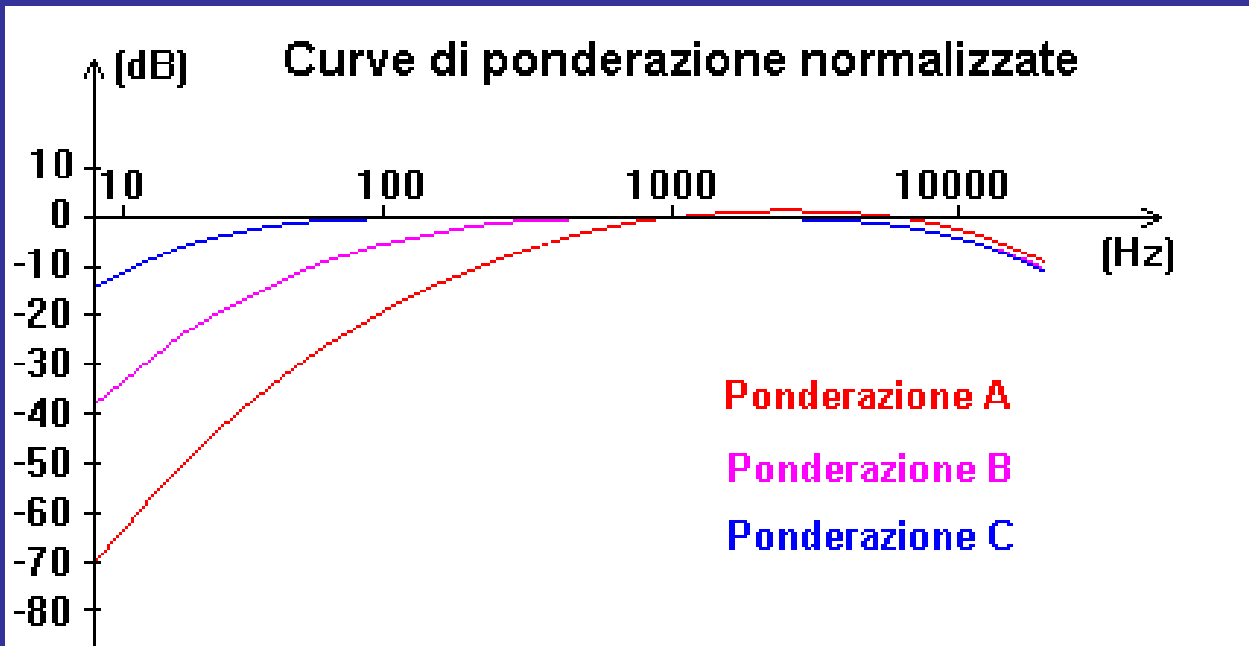
Audiogramma normale per i toni puri

Dire che un suono ha un livello equivalente di 60 Phon significa dire che esso appare all'osservatore medio della stessa intensità di un tono puro di 1000 Hz avente un livello della pressione sonora di 60 dB rif. $20 \mu\text{Pa}$.

Naturalmente il suo livello della pressione sonora è diverso da 60 dB.

Le curve isofoniche rappresentano la misura dei livelli equivalenti per l'intensità soggettiva per i toni puri.

Le reti filtranti possono essere variate tra la rete A, la B e la C. Le loro curve di risposta (a volte dette di pesatura), riportate in riproduzione approssimativamente la sensibilità dell'orecchio corrispondente alle curve di uguale sensazione quotate rispettivamente 40 Phon, 70 Phon e 100 Phon



Risposta delle reti filtranti A, B e C

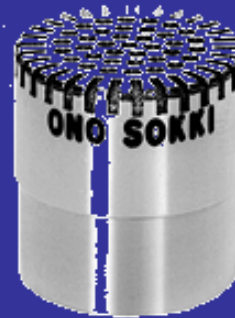
frequenza centrale in banda d'ottava		63			125			250	
frequenza centrale in terzo d'ottava	50	63	80	100	125	160	200	250	315
fattore di ponderazione A	-30.2	-26.2	-22.5	-19.1	-16.1	-13.4	-10.9	-8.6	-6.6

frequenza centrale in banda d'ottava		500			1000			2000	
frequenza centrale in terzo d'ottava	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500
fattore di ponderazione A	-4.8	-3.2	-1.9	-0.8	0	0.6	1	1.2	1.3

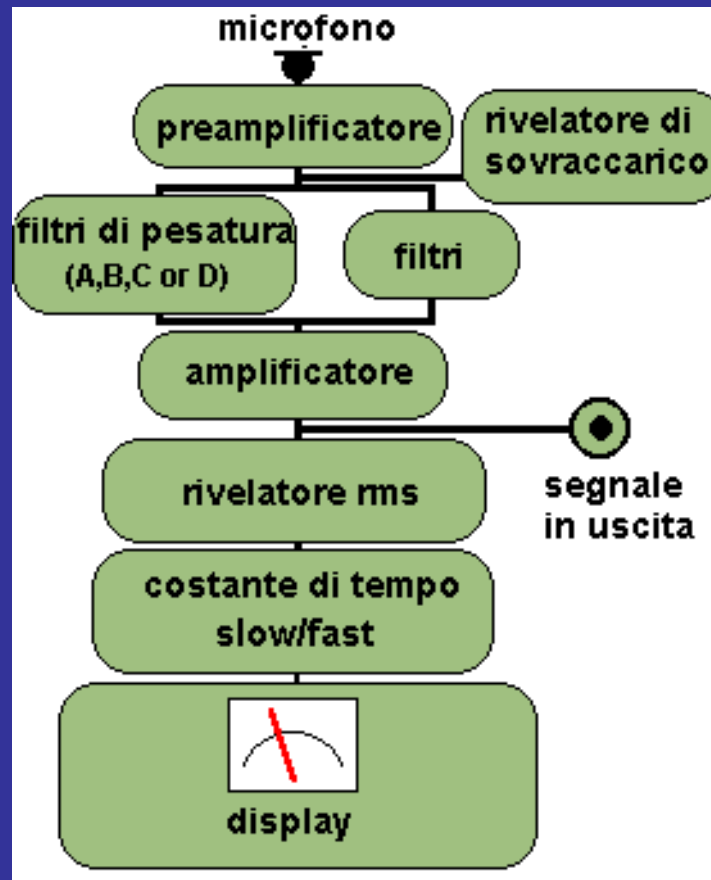
frequenza centrale in banda d'ottava		4000			8000				
frequenza centrale in terzo d'ottava	3150	4000	5000	6300	8000	10000			
fattore di ponderazione A	1.2	1	0.5	-0.1	-1.1	-2.5			

Fonometro

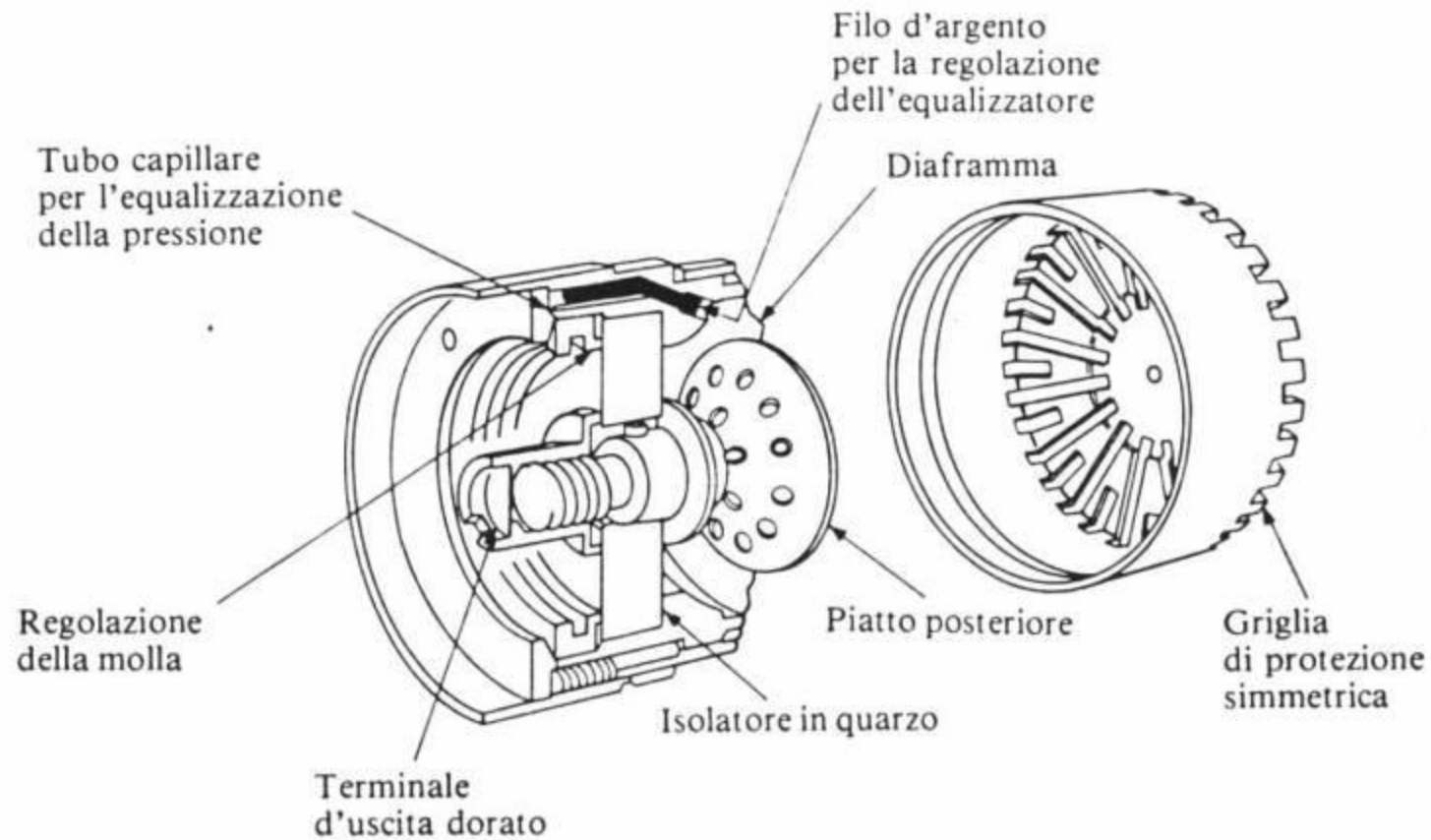
Le misure acustiche si effettuano con il fonometro:
misuratore del livello della pressione sonora



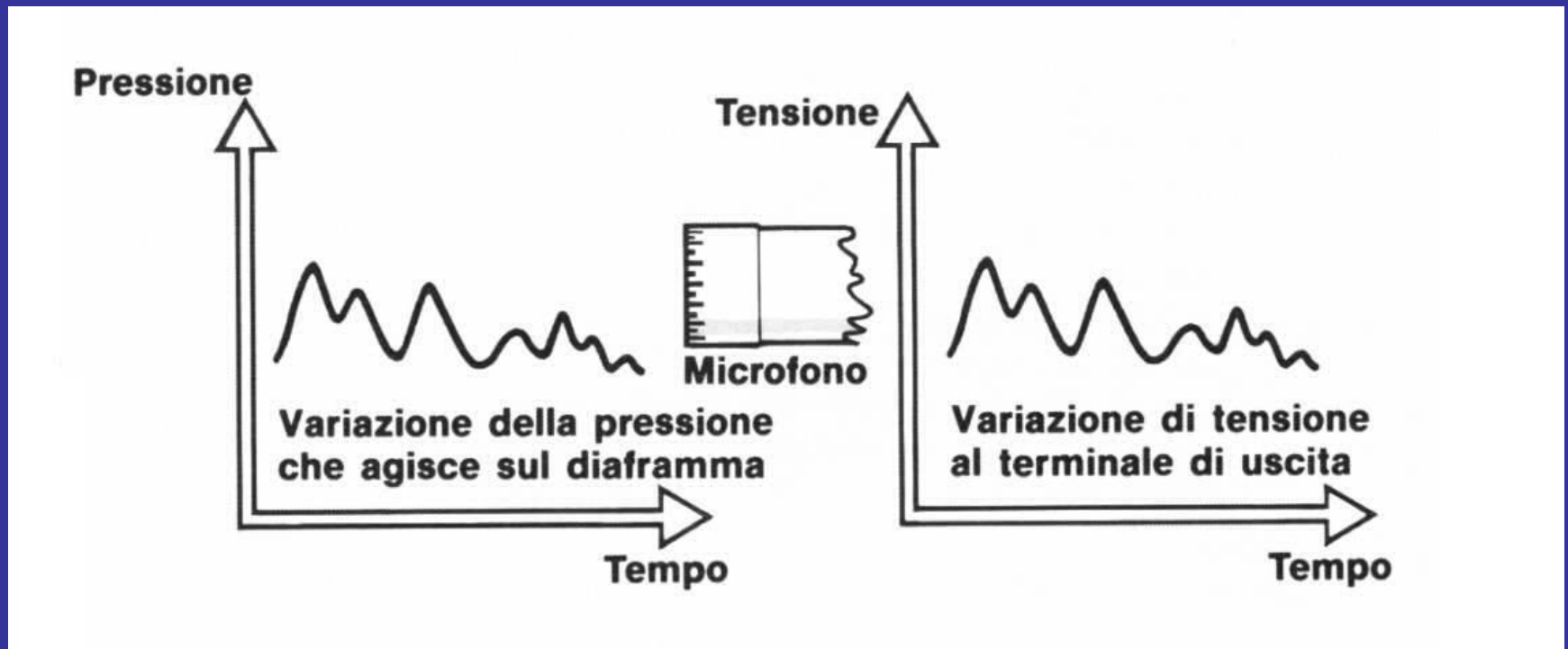
Schema a blocchi di un fonometro



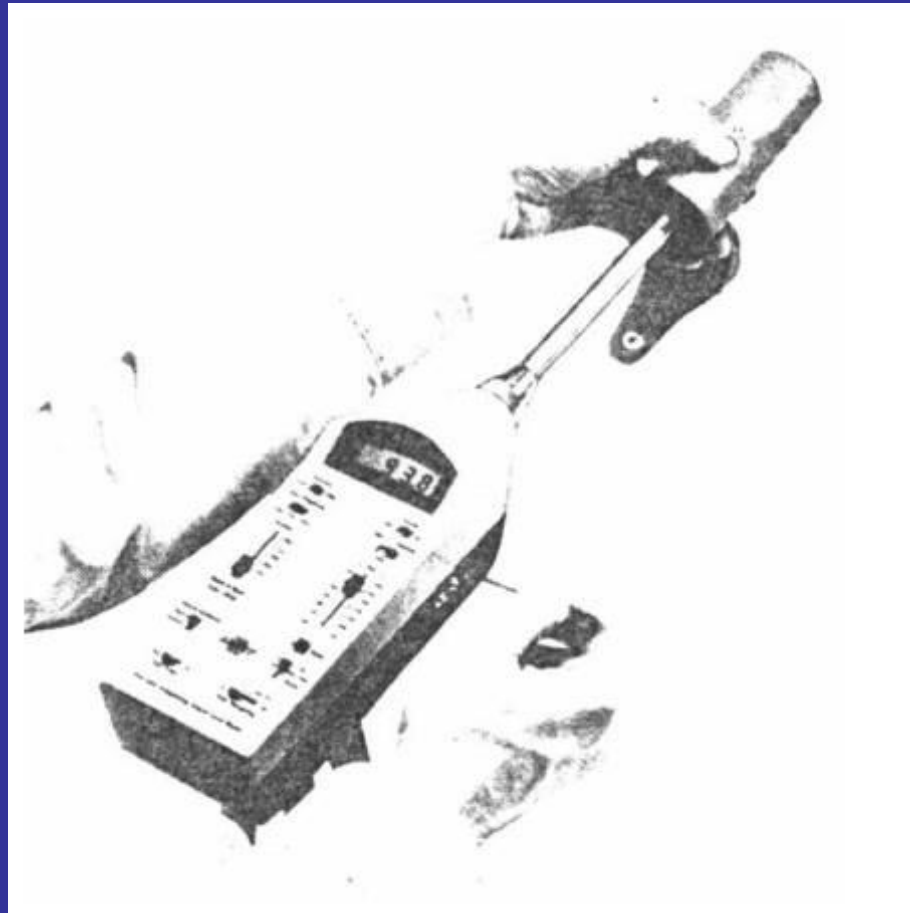
Spaccato di un microfono a condensatore



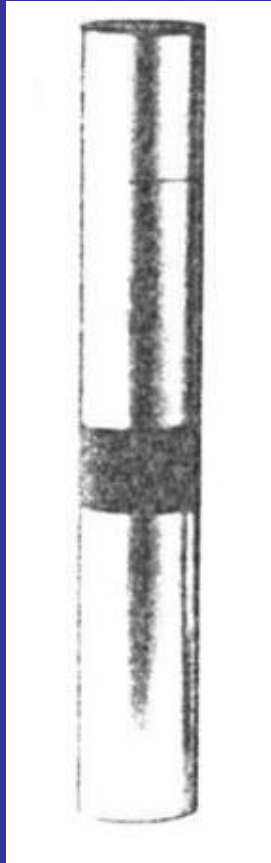
Un microfono è un trasduttore acustico che converte le fluttuazioni della pressione sonora in fluttuazioni di tensione



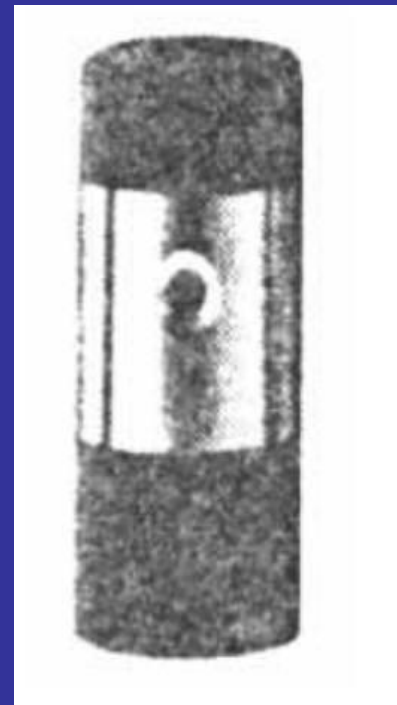
Prima di effettuare qualsiasi misura bisogna calibrare
l'apparecchiatura



Calibratore a stantuffo
(Pistonofono) 124 dB a
250 Hz



Calibratore a trasduttore
94 dB a 1000 Hz



Composizione di livelli

$$L_p = 10 \log_{10} \left(\frac{p^2}{p_{ref}^2} \right) = 20 \log_{10} \left(\frac{p}{p_{ref}} \right)$$

$$L_{p_1} = 10 \log_{10} \left(\frac{p_1^2}{p_{ref}^2} \right) \quad \text{e} \quad L_{p_2} = 10 \log_{10} \left(\frac{p_2^2}{p_{ref}^2} \right);$$

$$L_p = 10 \log_{10} \left(10^{L_{p_1}/10} + 10^{L_{p_2}/10} \right).$$

Combinazione dei livelli sonori

Somma di livelli di pressione sonora

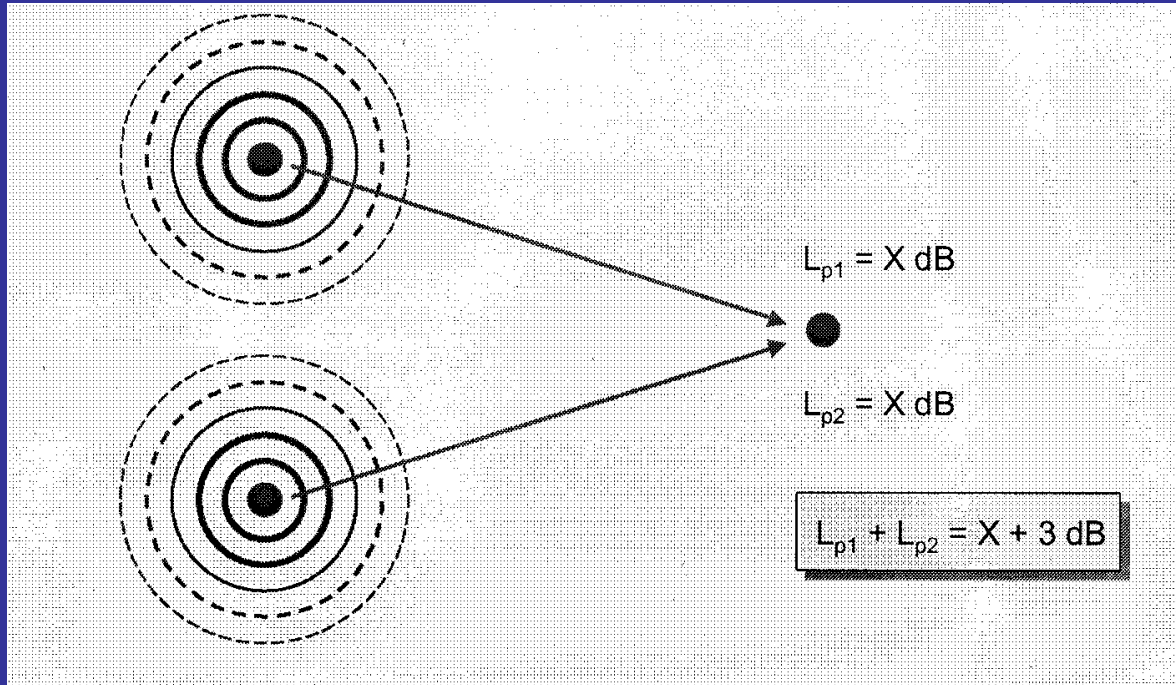
Sorgente S1	$L_1 = 75 \text{ dB}$
Sorgente S2	$L_2 = 78 \text{ dB}$
Sorgente S3	$L_3 = 69 \text{ dB}$

Il livello totale relativo alle tre sorgenti, funzionanti contemporaneamente, si calcola con la seguente relazione

$$L_p(\text{totale}) = 10 \log \left(10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}} + 10^{\frac{L_3}{10}} \right)$$

$$L_p(\text{totale}) = 10 \log(10^{\frac{75}{10}} + 10^{\frac{78}{10}} + 10^{\frac{69}{10}})$$

$$L_p(\text{totale}) = 80 \text{ dB}$$



La somma di due livelli uguali
e' di 3 dB

Composizione di livelli sonori

