

Modulo di Tecnica del controllo ambientale



Misure acustiche
Ing. Agostino Viola



Università degli Studi di Cassino

Facoltà di ingegneria

DiMSAT - Dipartimento di Meccanica, Strutture, Ambiente e Territorio



1^a lezione

- Analisi in frequenza
- Strumenti e tecniche di misura
 - Fonometri
 - Calibratori elettrici e meccanici

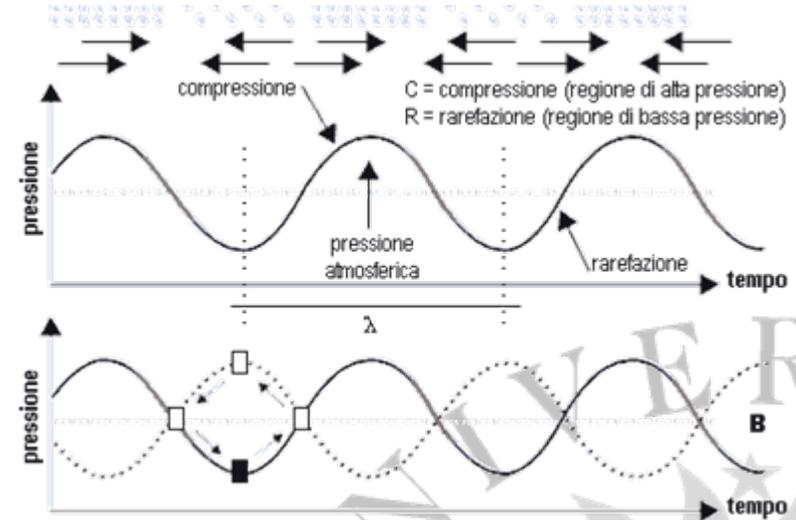
2^o Lezione

- Esercitazioni
- Taratura dei fonometri e dei calibratori
 - Sistemi primari e secondari
- Normativa legislativa e tecnica
- Rumore negli ambienti di lavoro



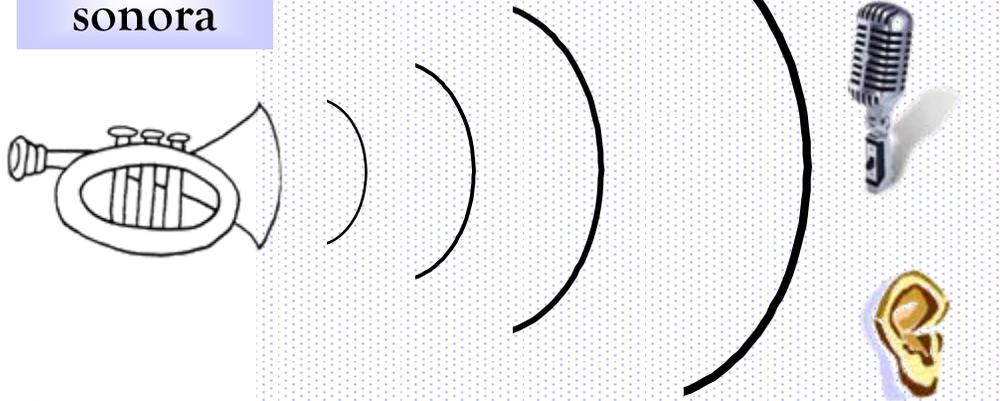
- Il **suono** è una perturbazione che si propaga sotto forma di onda di compressione e rarefazione, attraverso un mezzo elastico (aria, acqua, ecc.)

Un fenomeno **acustico** prevede la presenza contemporanea di..



mezzo di trasmissione

sorgente sonora



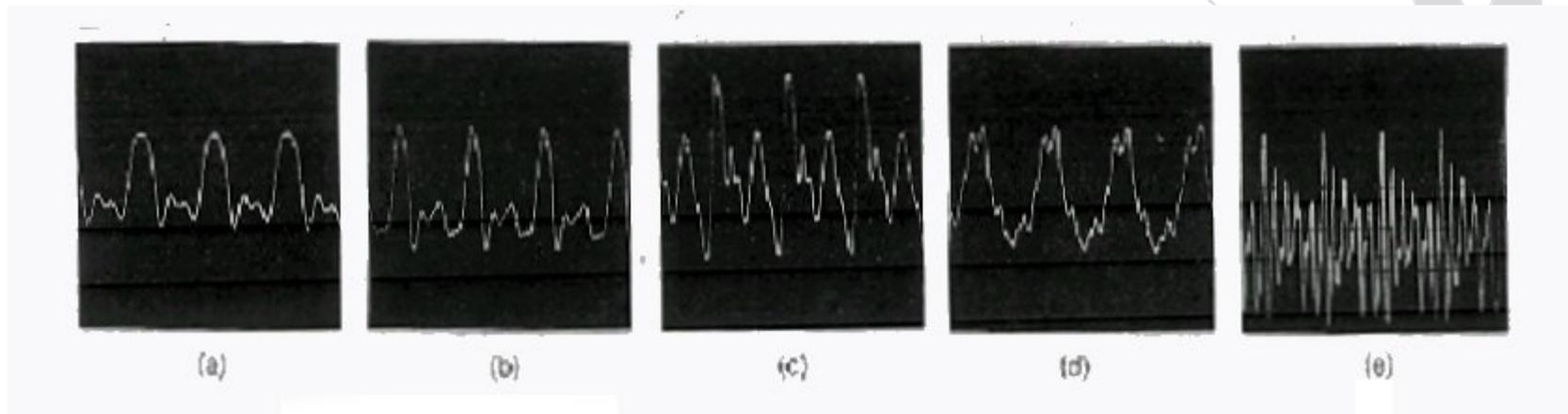
ricevitore



Il suono non si propaga nel vuoto!!



- Parametro che permette di discriminare tra suoni emessi da sorgenti diverse anche se con la stessa intensità e frequenza
- Due elementi contribuiscono a forme d'onda complesse (e quindi al timbro)
 - nel dominio della frequenza, le componenti spettrali
 - nel dominio del tempo, i transitori
- I toni puri (onde sinusoidali) sono noiosi (senza carattere)



flauto

tromba

sax soprano

violino

tuba

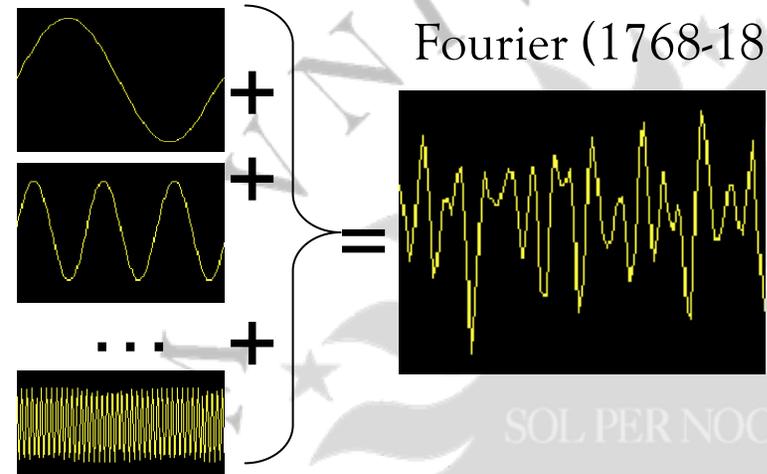
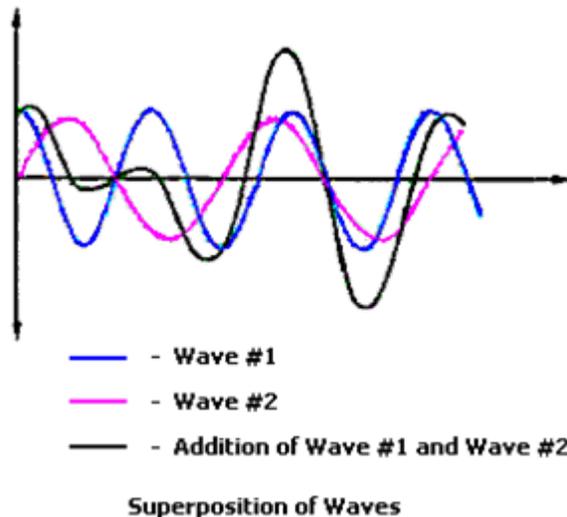
La_4 (440 Hz), 8ms

La_2 (110 Hz), 40 ms

- Una forma d'onda periodica qualsiasi di periodo P può essere costruita a partire da un insieme di onde sinusoidali le cui frequenze formano una serie armonica con $f_1 = 1 / P$
- Ogni onda sinusoidale avrà una sua fase (φ_n) e ampiezza (A_n), e anche queste possono essere estratte dalla forma d'onda complessa.



Fourier (1768-1830)



$$v(t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \sin(n\omega_0 t + \varphi_n) = A_0 + A_1 \sin(\omega_0 t + \varphi_1) + A_2 \sin(\omega_0 t + \varphi_2) + \dots$$

Dominio nella frequenza

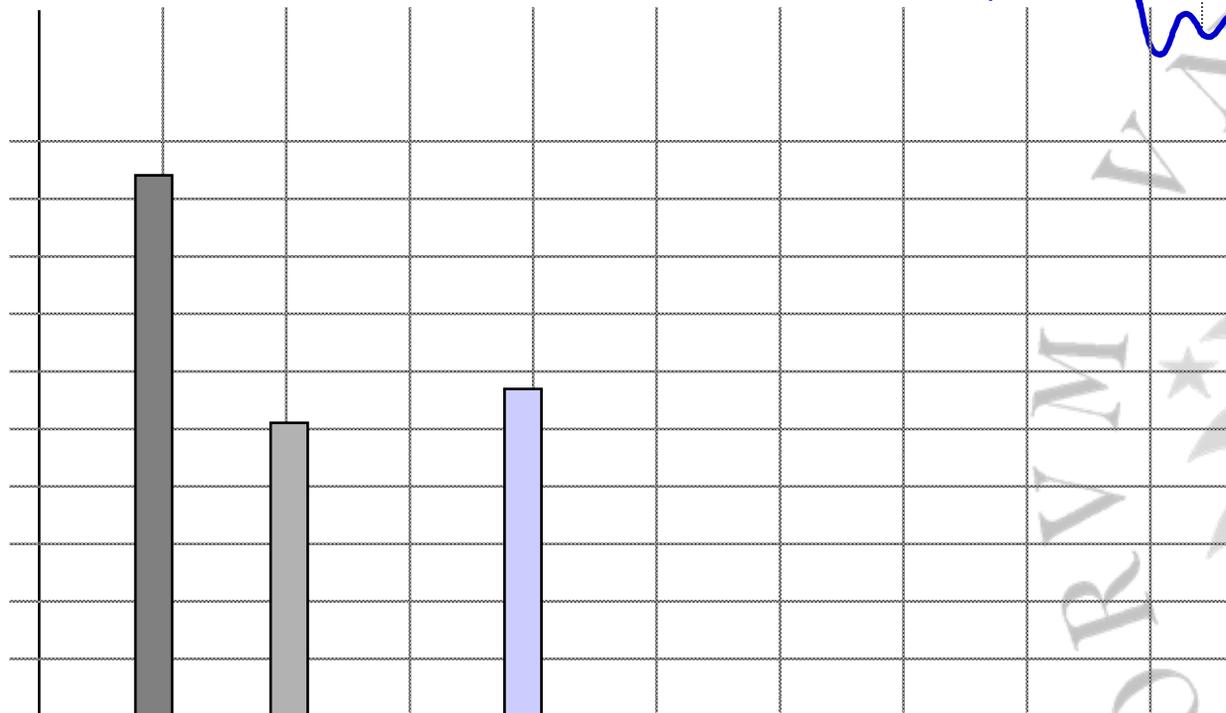


(a) 440 Hz

(b) 220 Hz

(c) 110 Hz

Ampiezza

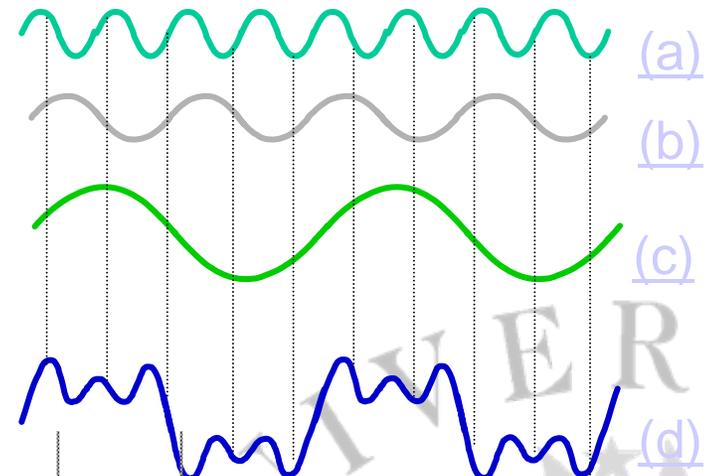


110

220

440

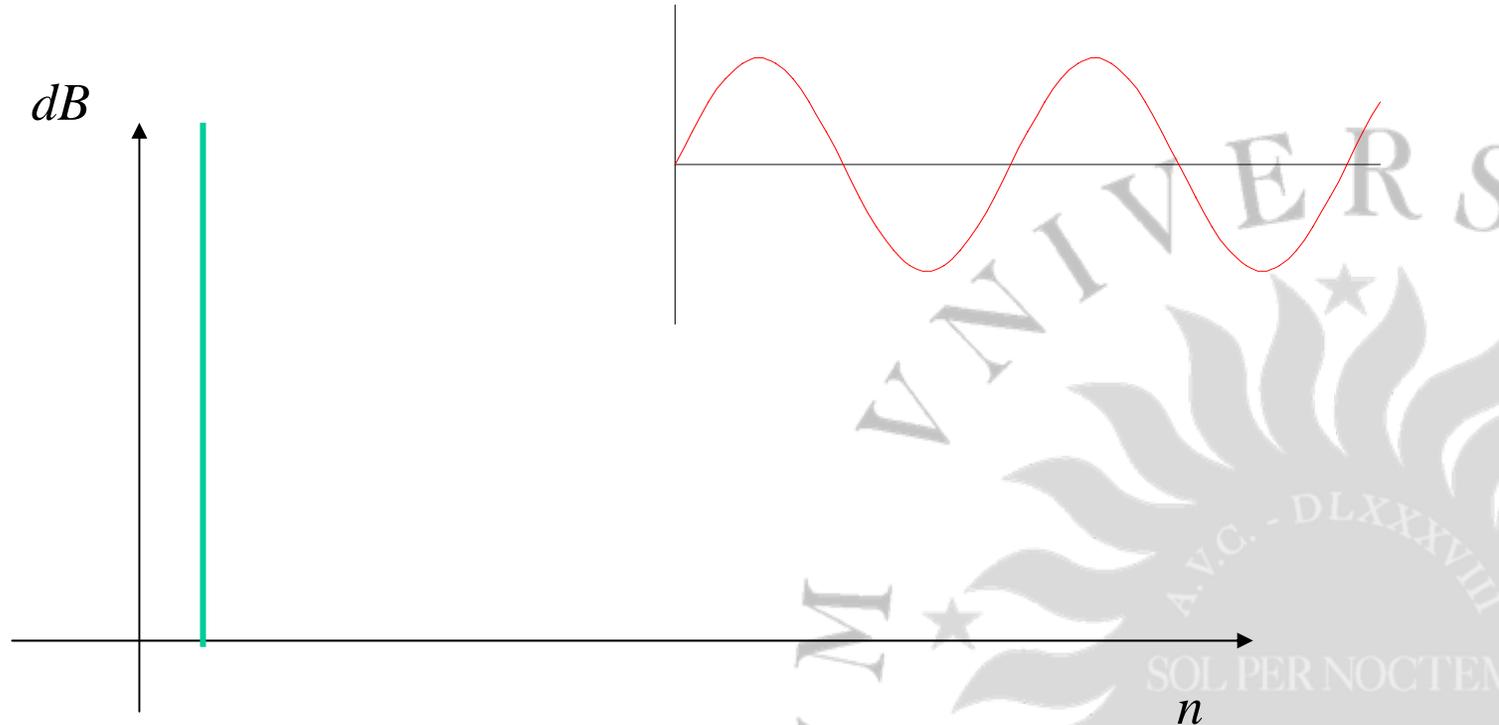
Frequenza



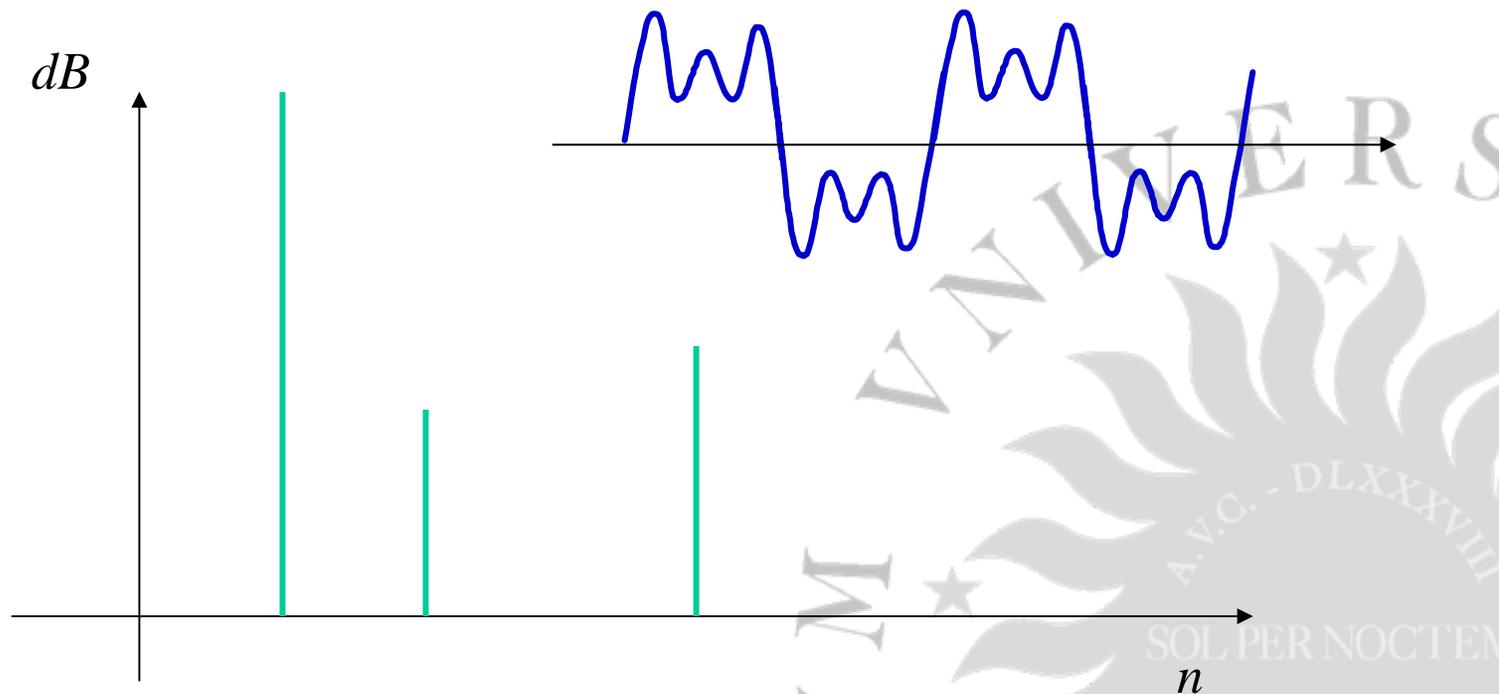
Dominio nel tempo

(a)
(b)
(c)
(d)





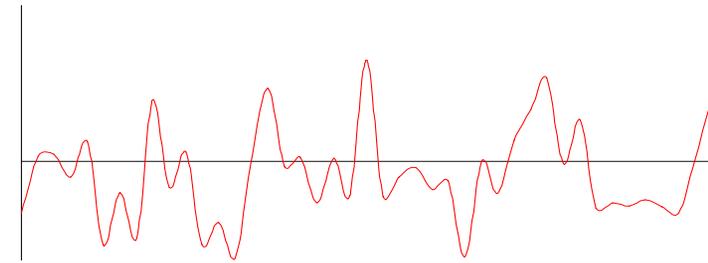
- Lo spettro contiene soltanto la fondamentale



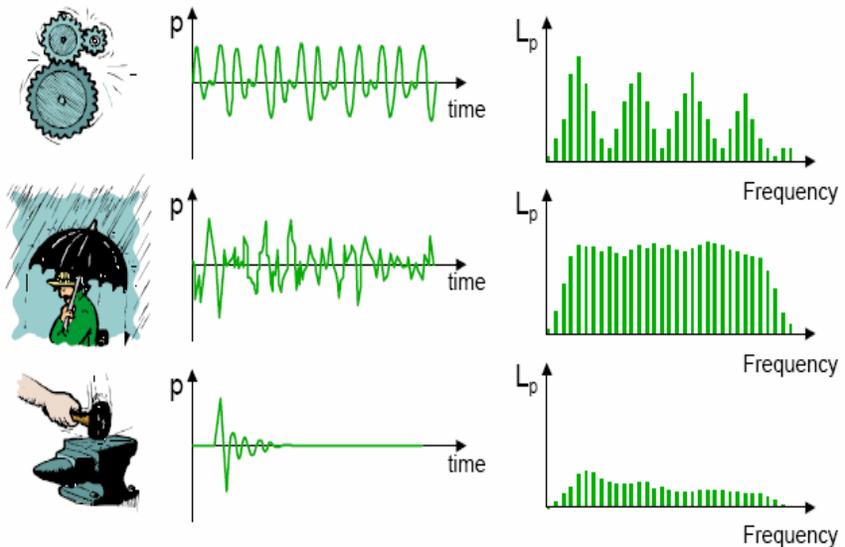
- Lo spettro contiene le tre frequenze componenti



- Stessa forza a tutte le frequenze
- Non serie armonica; combinazione di sinusoidi a tutte le frequenze
- E' ciò che si ascolta alla radio o alla TV tra le stazioni



Typical Sound and Noise Signals

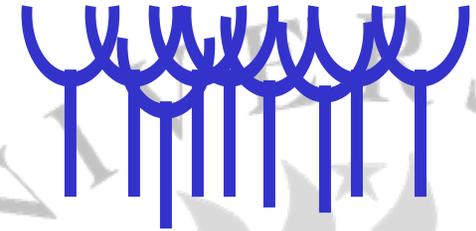


Il rumore bianco è generoso in "brillantezza" e per questo, essendo l'orecchio umano più suscettibile alle alte frequenze, non risulta molto rilassante. E' efficace per mascherare altri suoni e in particolari circostanze e' indicato per provocare allucinazioni uditive

Sintesi di Fourier: combinare onde sinusoidali per formare onde complesse

Analisi di Fourier: individuare le componenti sinusoidali di una forma d'onda complessa

Spettro di Fourier: l'insieme delle ampiezze delle onde sinusoidali (componenti di Fourier) che formano un'onda complessa



- Un'onda sinusoidale semplice è prodotta da un diapason o da un sintetizzatore elettronico
- La gamma di suoni presenti in un qualsiasi brano potrebbe essere creata da un enorme complesso di musicisti con diapason.

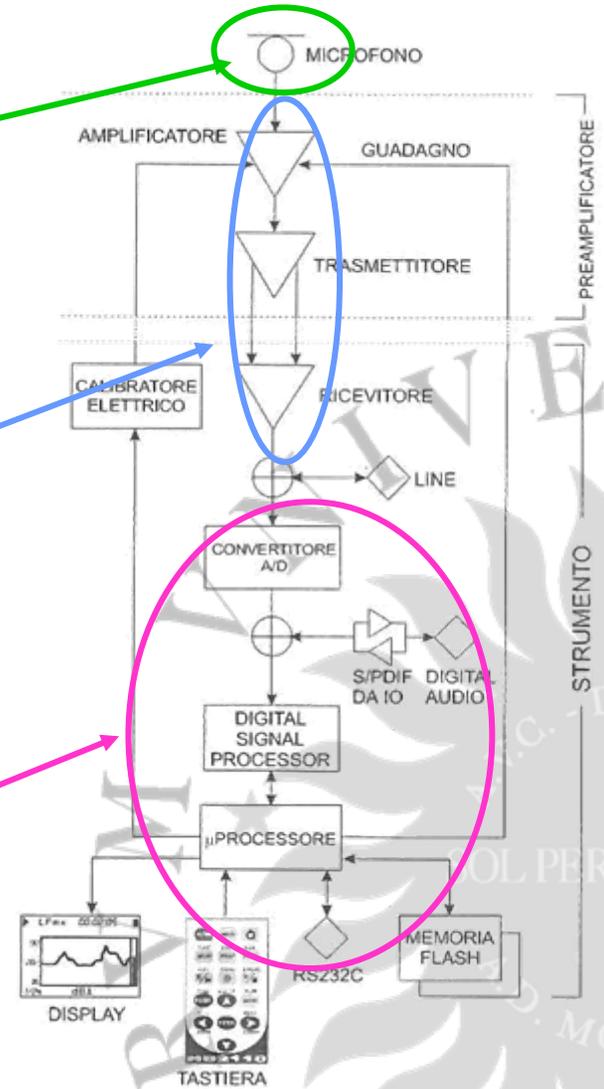
Il dovere di ogni buon fonometro consiste nel convertire un segnale di pressione (onde sonore nella maggior parte dei casi di forma complessa) in qualcosa che può essere utile per effettuare un confronto: il livello di pressione sonora [dB]

Oltre alla bontà del fonometro è indispensabile un operatore capace di effettuare le misure e valutare l'attendibilità del dato



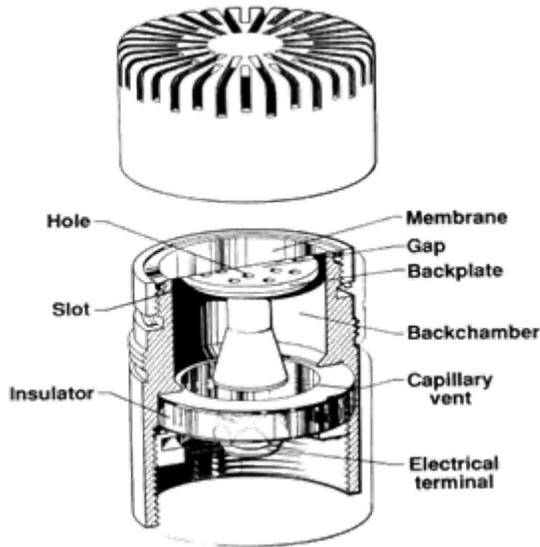


- campo libero
- campo diffuso
- microfoni speciali



* di un certo livello.....





How much does the diaphragm move ?

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta d}{d}$$

For typical measurement microphone:

- diameter 12.5 mm
- thickness of diaphragm 5 μm
- distance between diaphragm and backplate 20 μm
- polarisation voltage 200 V
- sensitivity 50 mV/Pa

For 94 dB = 1 Pa the diaphragm moves

$$\Delta d = \frac{\Delta V \times d}{V} = \frac{50 \text{ mV} \times 20 \mu\text{m}}{200 \text{ mV}} = 5 \text{ nm}$$

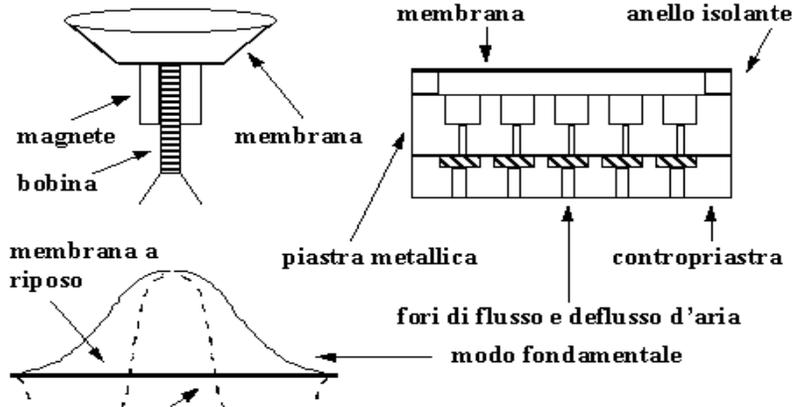
Diameter of diaphragm	Pressure (level re 20 μPa)	Diaphragm's movement
12.5mm	1Pa (94dB)	5nm (5 x 10 ⁻⁹ m)
12.5mm	0.02Pa (60dB)	1 Å (10 ⁻¹⁰ m)
12500 μm (thickness of diaphragm 5 μm)	0.02Pa (60dB) 0.0002Pa (20dB)	0.1m (10 ⁻¹ m) 0.001m (10 ⁻³ m)

- Pregi:
- Maggiore sensibilità
 - Gamma dinamica
 - Buona risposta in frequenza

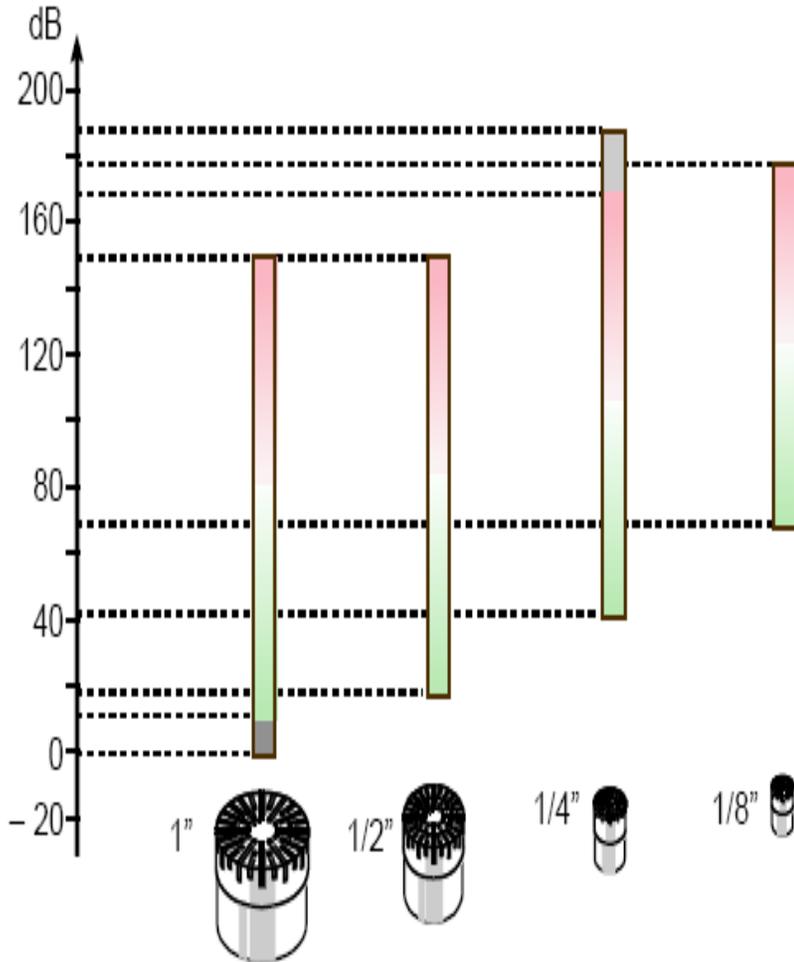
- Difetti:
- Delicati
 - Estremamente sensibili alle condizioni ambientali

Microfono a velocità

Microfono a condensatore

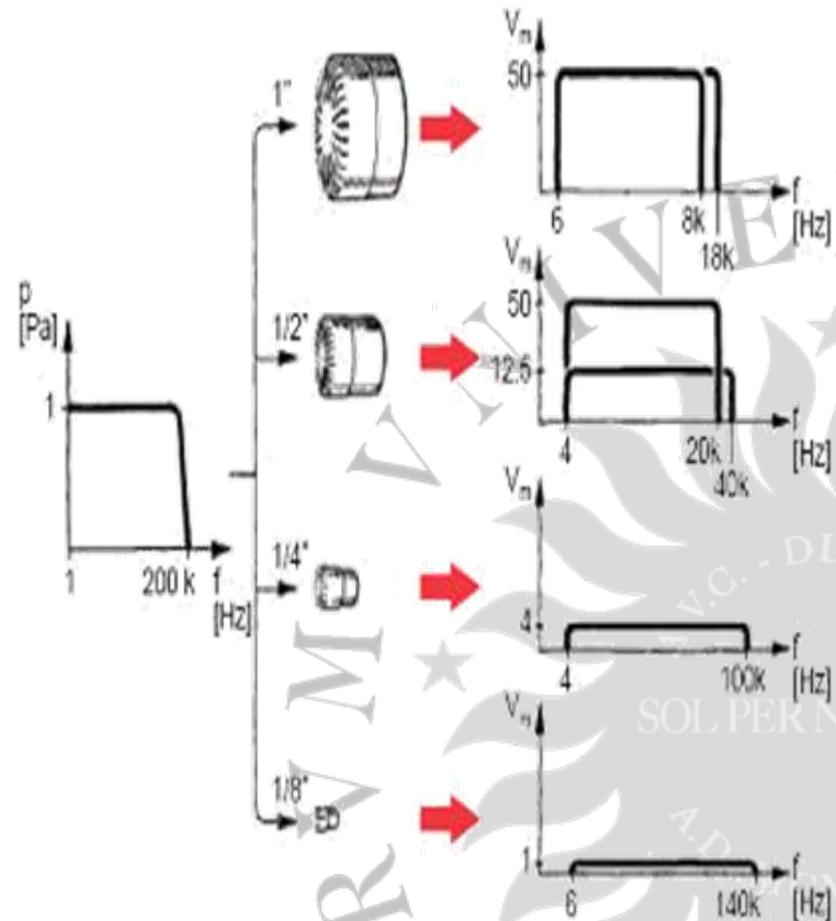


Dynamic Range



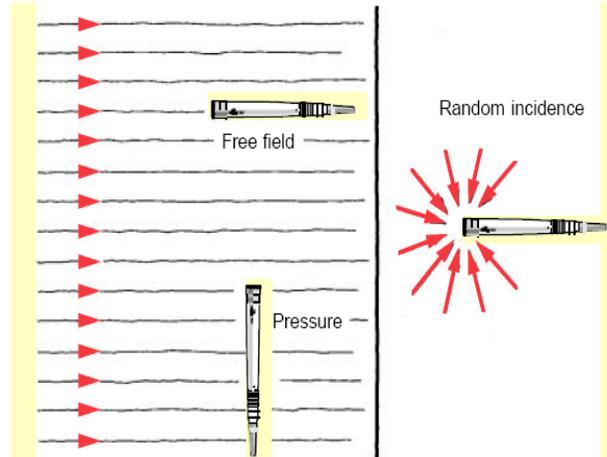
Gamma dinamica

Frequency Range and Sensitivity

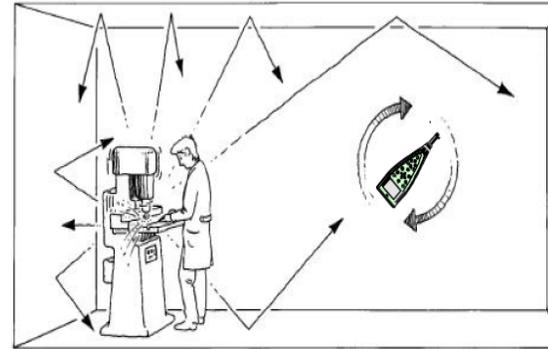


Range di frequenza e sensibilità

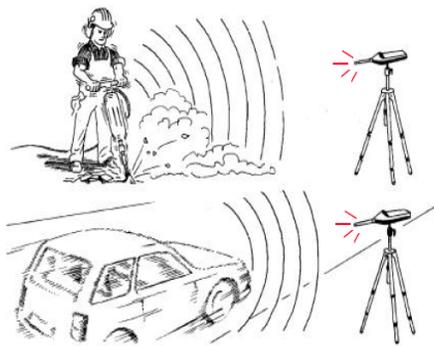
Types of Microphones



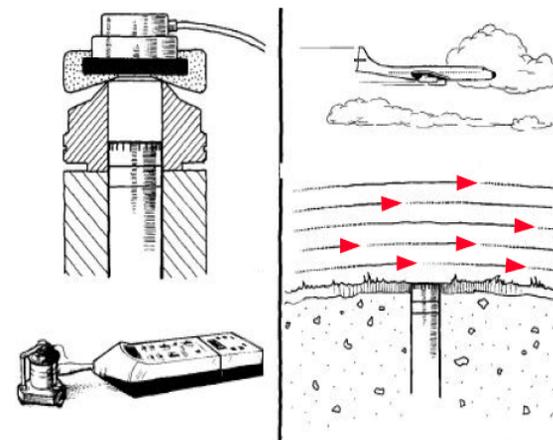
Use of Random Incidence Microphones



Use of Free Field Microphones



Use of Pressure Microphones



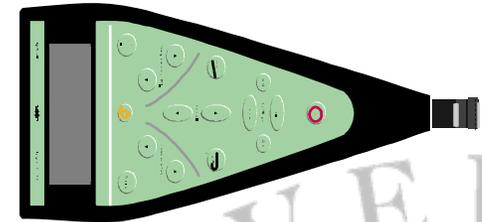
Dovendo infatti utilizzare un microfono per campo libero in campo diffuso, si corregge la curva tramite circuiti di compensazione interni al fonometro stesso (per esempio in quello della Bruel&Kjaer). Questi circuiti correggono la curva dei livelli tramite un'operazione di filtraggio.

In funzione della precisione le Norme internazionali (IEC,ANSI,BS,DIN,..) hanno fissato 3 diverse classi:

- **Classe 1:** precisione (utilizzato per le misure di inquinamento acustico, emissione sonora, zonizzazione acustica,...) [0.7 dB]

- **Classe 2:** industriali (minore precisione, utilizzato per il monitoraggio all'interno degli stabilimenti industriali, fornisce solitamente il valore istantaneo) [1.1 dB]

- **Classe 3:** sorveglianza (usati come allarmi) [1.5 dB]
Nella nuova norma questa classe è stata rimossa



Calibratori elettrici

Generano un segnale in pressione con le seguenti caratteristiche

1000 Hz - 94 o 114 dB

Calibratori meccanici (pistonofoni)

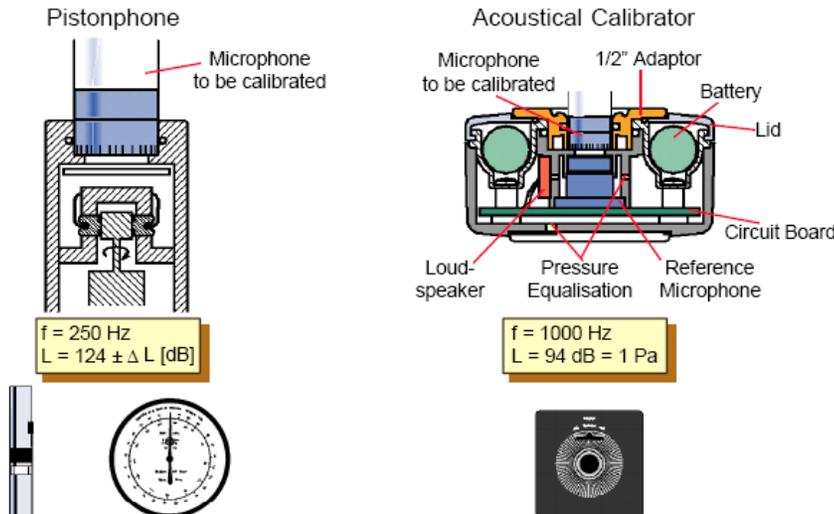
250 Hz - 124 dB

Sensibilità alla pressione atmosferica!



$$\Delta p = \gamma P_0 \left(\frac{\Delta V}{V_0} \right)$$

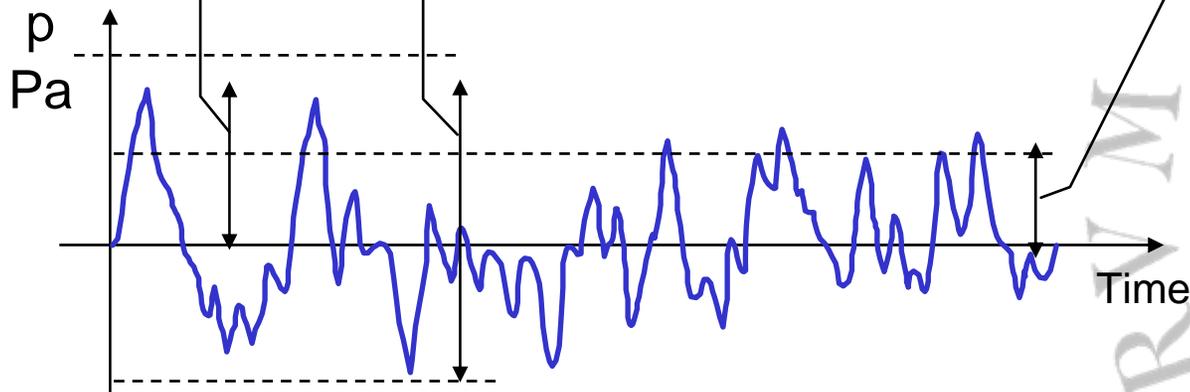
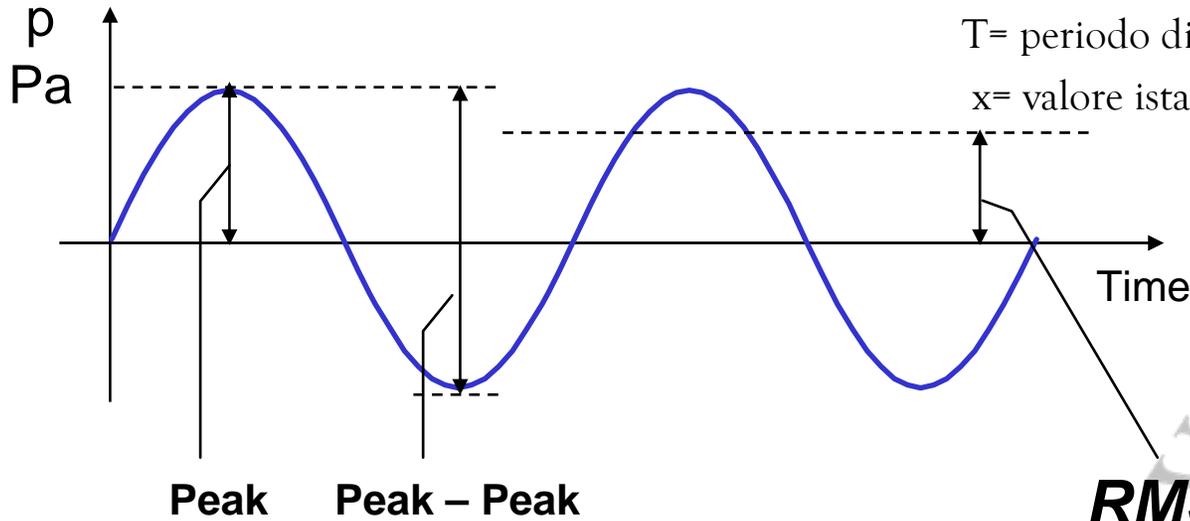
Pistonphone and Acoustical Calibrator



RMS (root mean square) E' quel valore rappresentativo del segnale in esame qualora fosse costante e non sinusoidale

T= periodo di osservazione

x= valore istantaneo di ampiezza



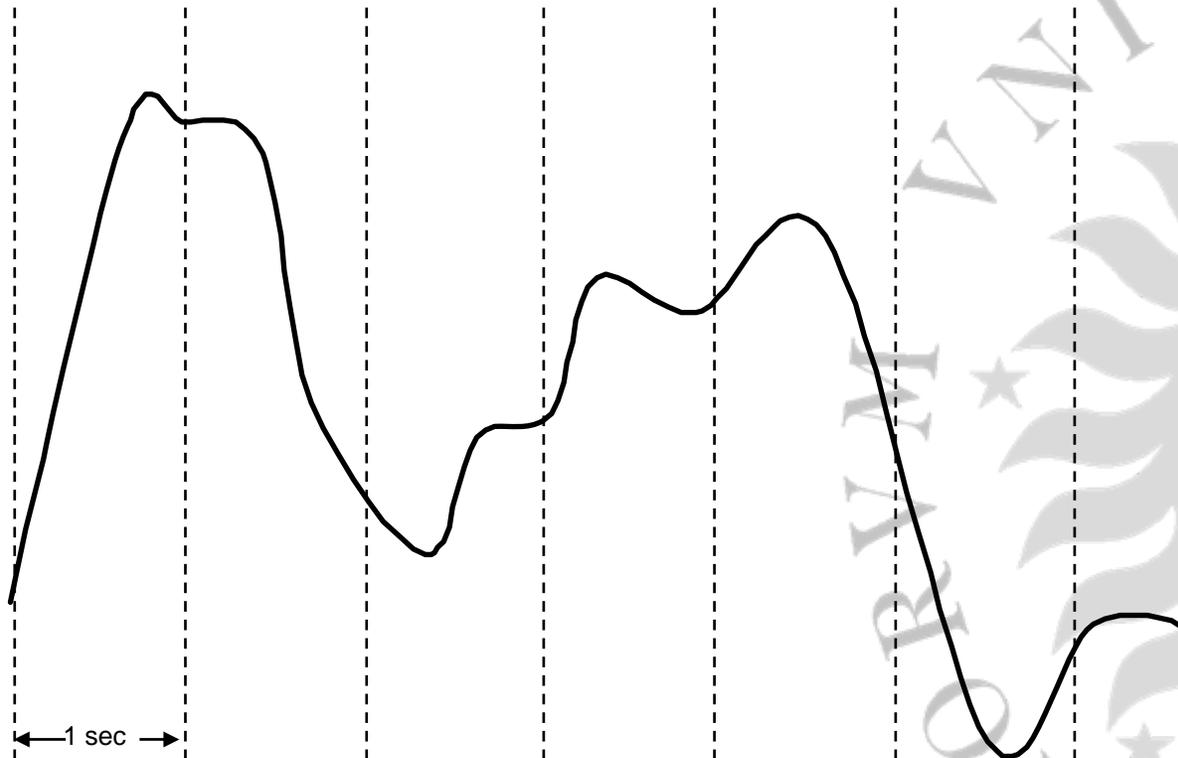
$$RMS = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt}$$

$$\text{Crest factor} = \frac{\text{Peak}}{\text{RMS}}$$

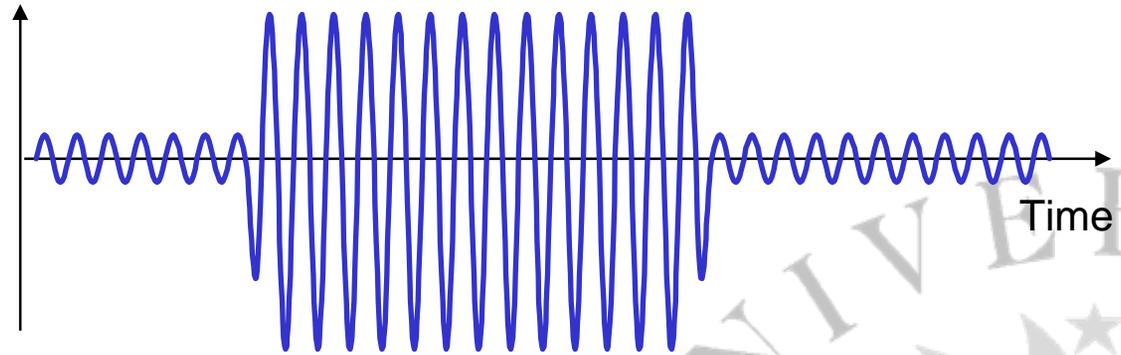
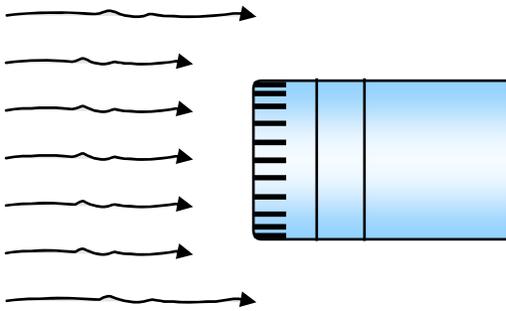


- **SPL or LP (F,S,I) [dB(A,B,C,Z)]** (sound pressure level) Max RMS level senza l'ultimo secondo
- **Inst.** (istantaneo)
- **Leq(F,S,I) [dB(A,B,C,Z)]** (equivalent continuous sound level)
- **SEL** (Sound Exposure Level) SEL is Leq value compresso in 1 sec.
- Analisi in banda d'ottava e 1/3 di ottava!

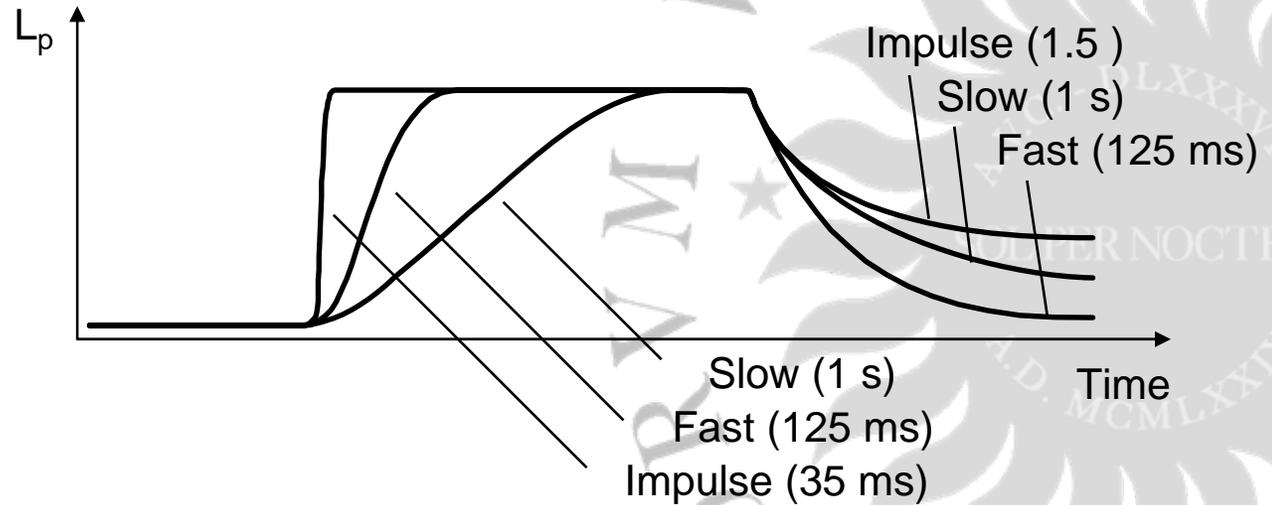
$$L_{eq} = 10 \log \left[\frac{1}{T} \int_0^t \frac{p_A^2}{p_0^2} dt \right]$$



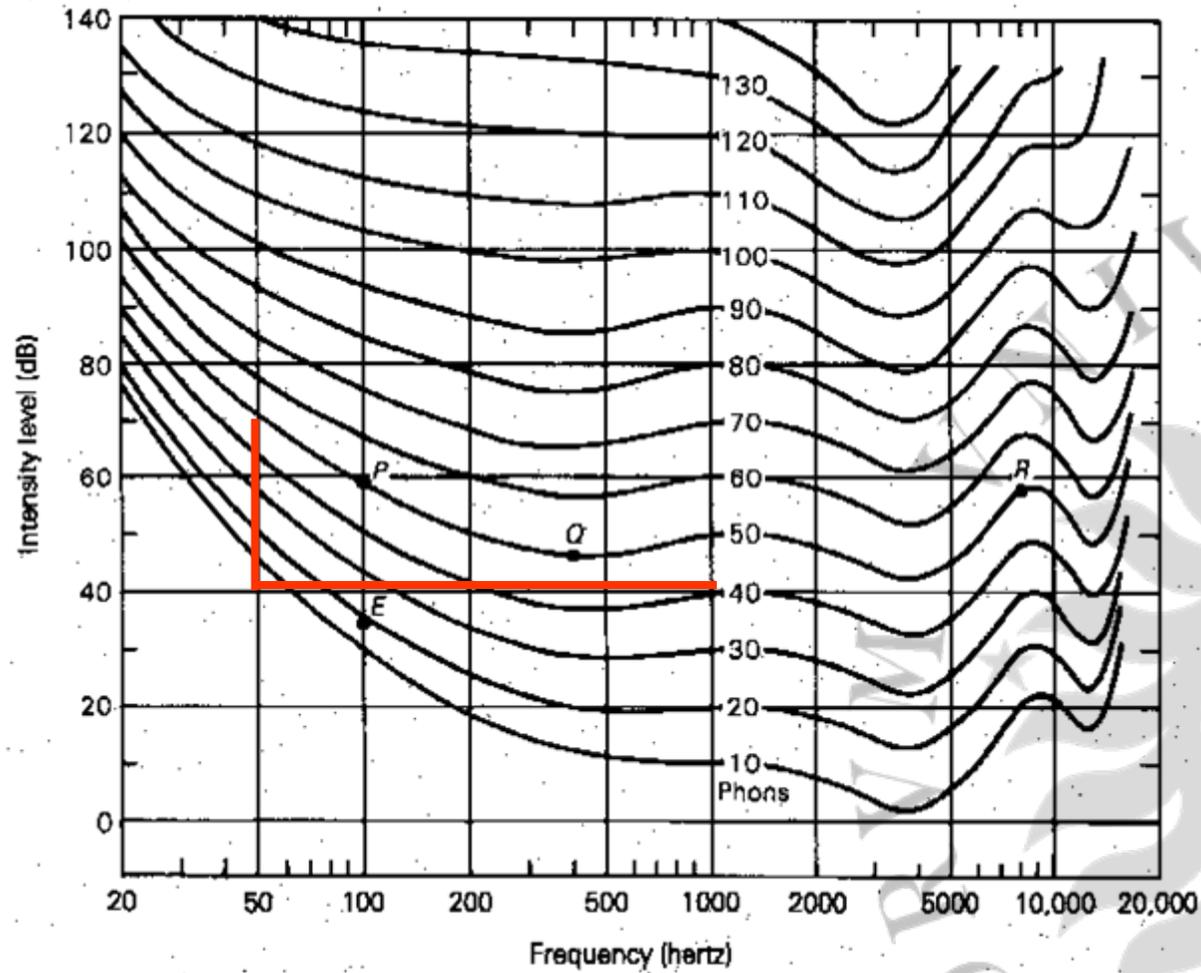
p



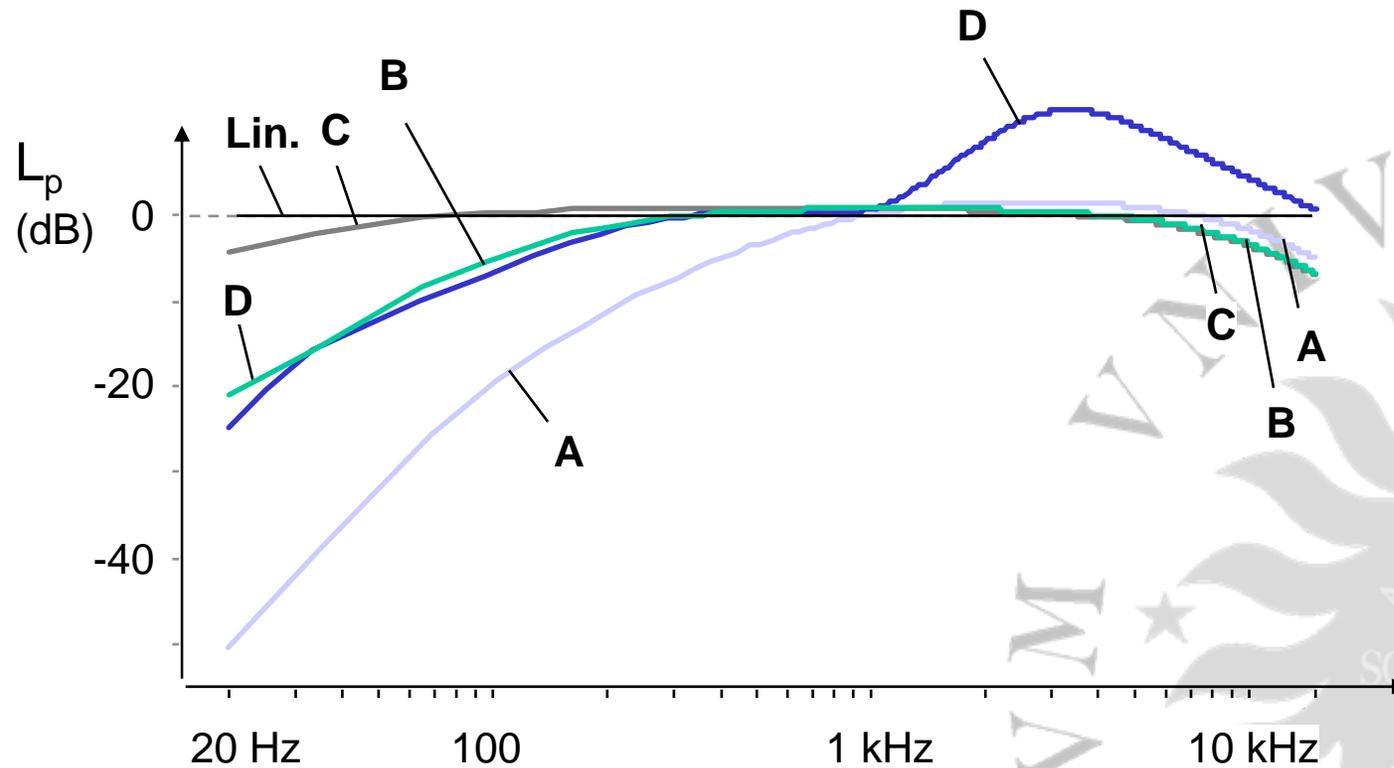
Sensibilità a seconda dell'evoluzione temporale della misura



Sensibilità alla frequenza sonora

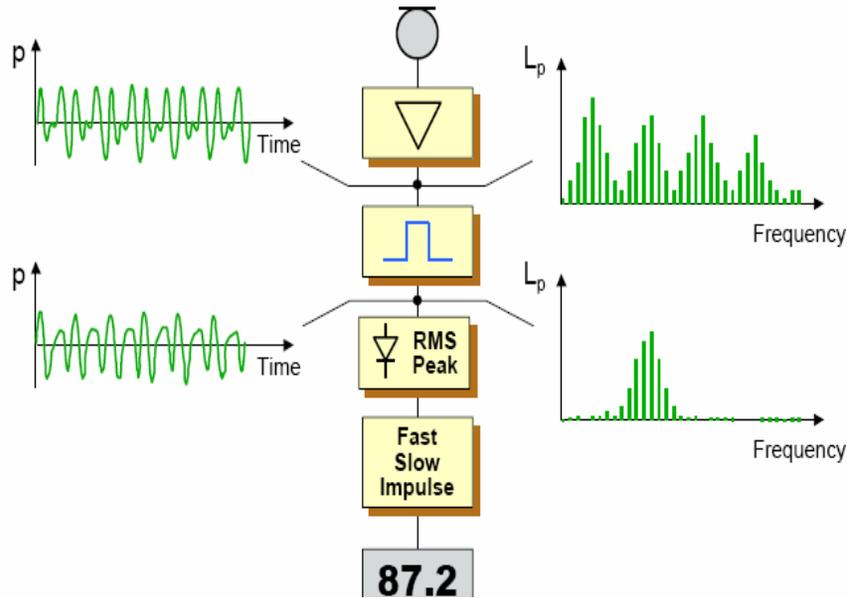


Selettività in base alla frequenza



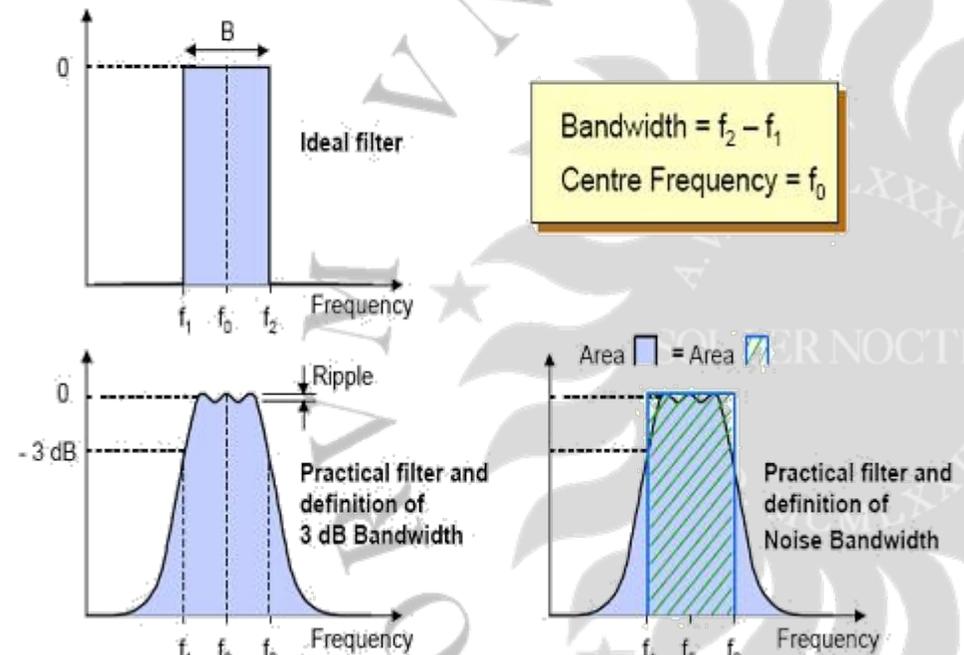
La ponderazione A è l'isofonica a 1000 Hz ribaltata

Filters

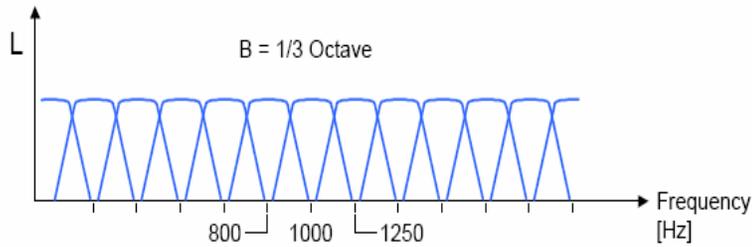
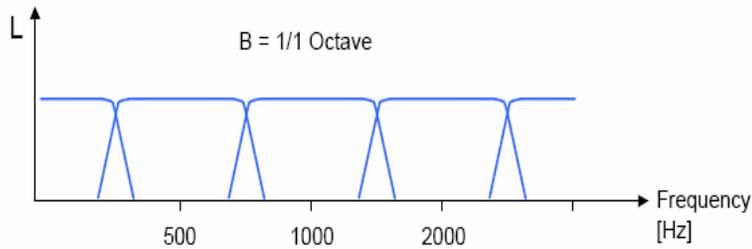


Le componenti tonali (suoni ben distinguibili, fischi,..) creano situazioni di discomfort acustico notevoli, soprattutto alle alte frequenze

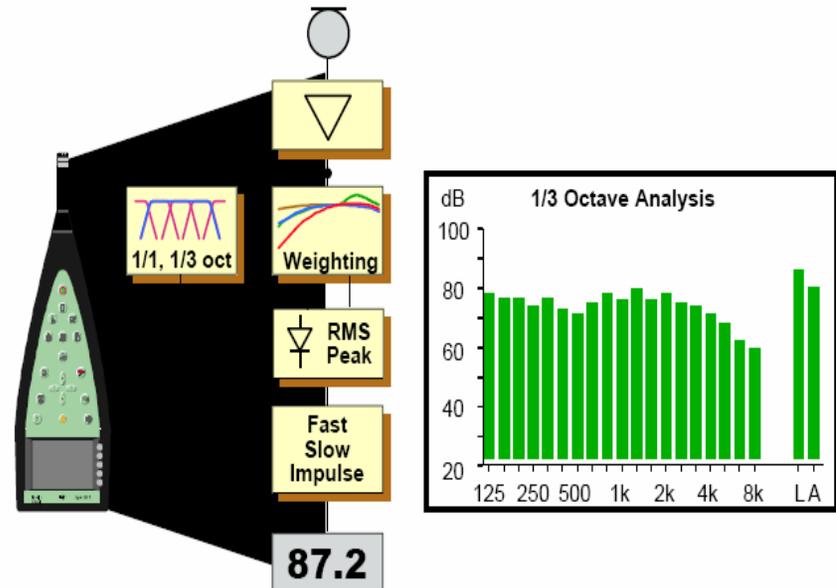
Bandpass Filters and Bandwidth

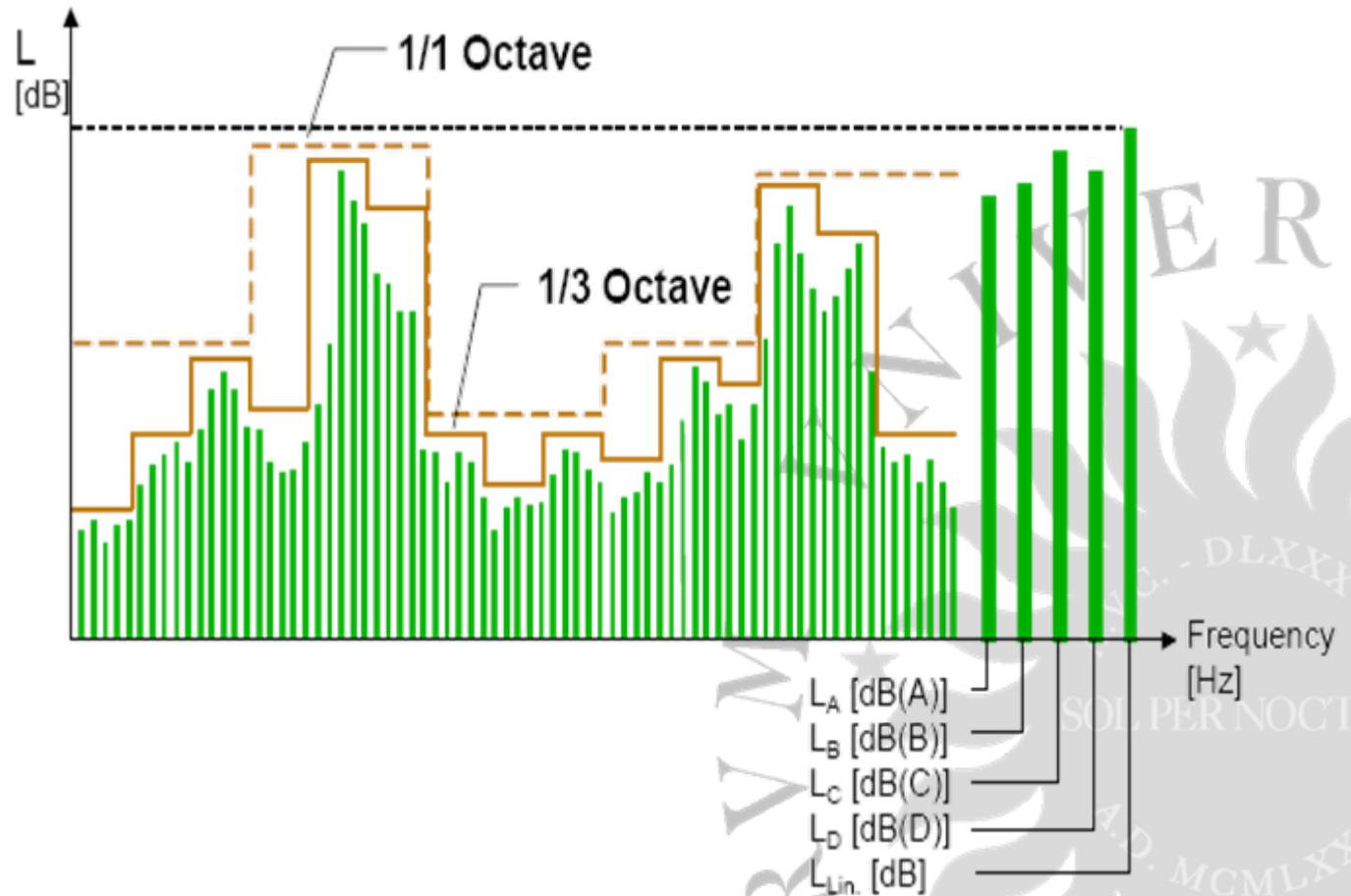
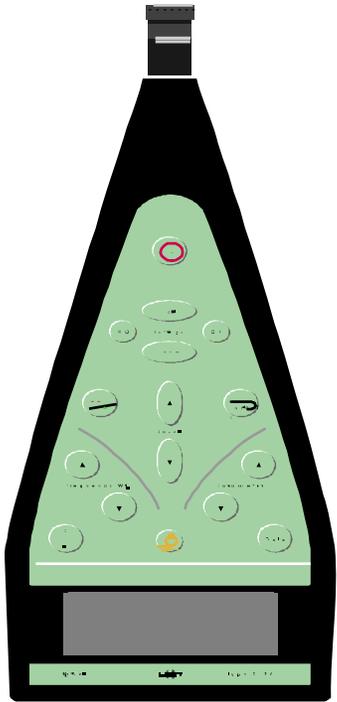


$3 \times 1/3 \text{ Oct.} = 1/1 \text{ Oct.}$



The Sound Level Analyzer





E non solo....

- <http://www.deltaohm.com/>
- <http://www.bksv.com/>
- <http://www.lsi-lastem.it/default.asp>
- <http://www.spectra.it/index.html>
- <http://www.svantek.com/>

