



Università di Pavia, Facoltà di MEDICINA e CHIRURGIA
Corso di laurea in
Tecniche di radiologia medica, per immagini e radioterapia

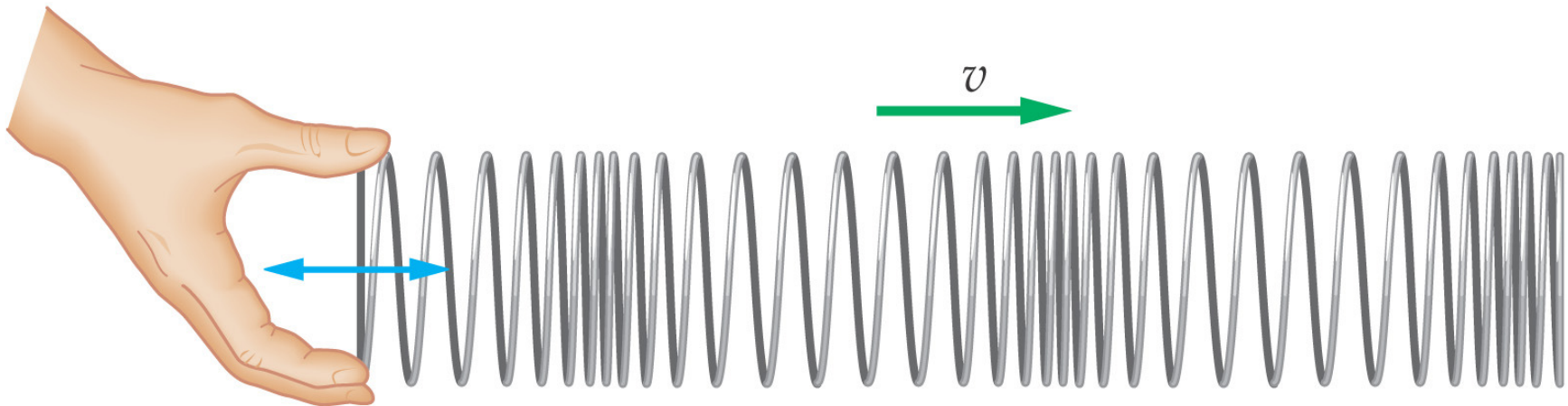
Misure elettriche ed elettroniche

SUONO

- **ONDE SONORE**
- **PRESSIONE SONORA**
- **VELOCITA' DEL SUONO**

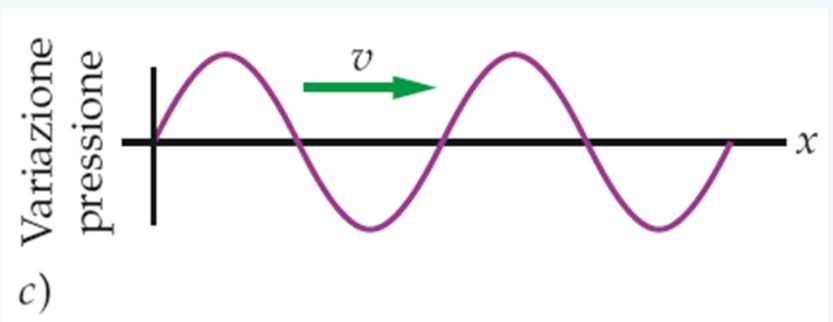
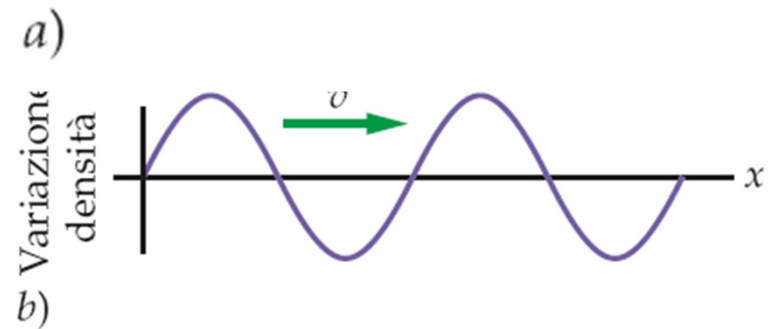
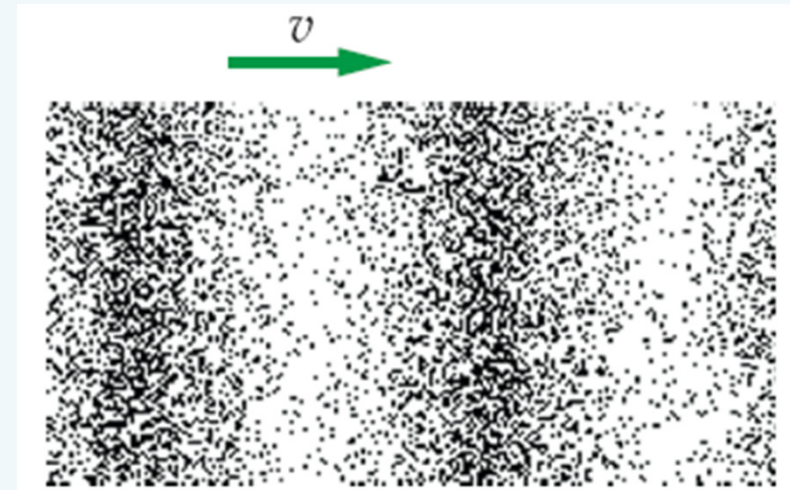
Onde sonore

Le onde sonore sono onde longitudinali simili a quelle che si propagano in una molla.



In questo caso l'onda è una successione di compressioni e rarefazioni.

In un'onda sonora le grandezze che oscillano sono la densità e la pressione dell'aria (o del mezzo in cui si propaga l'onda).

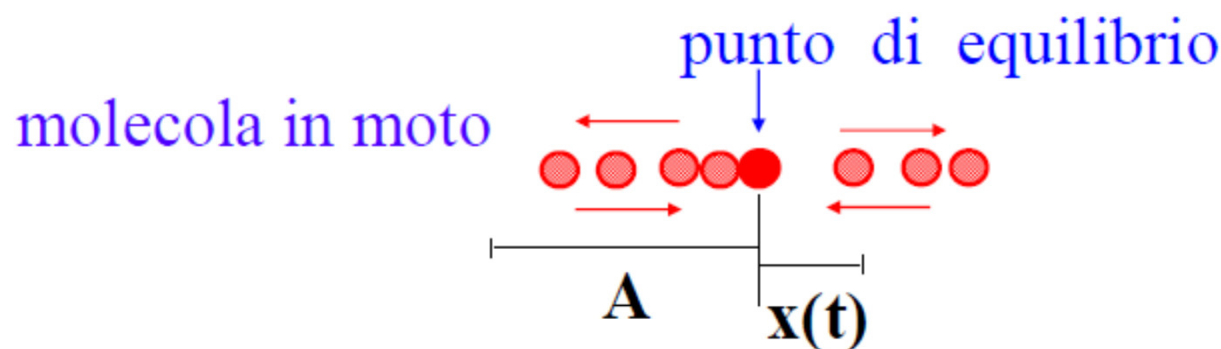


SUONO

1

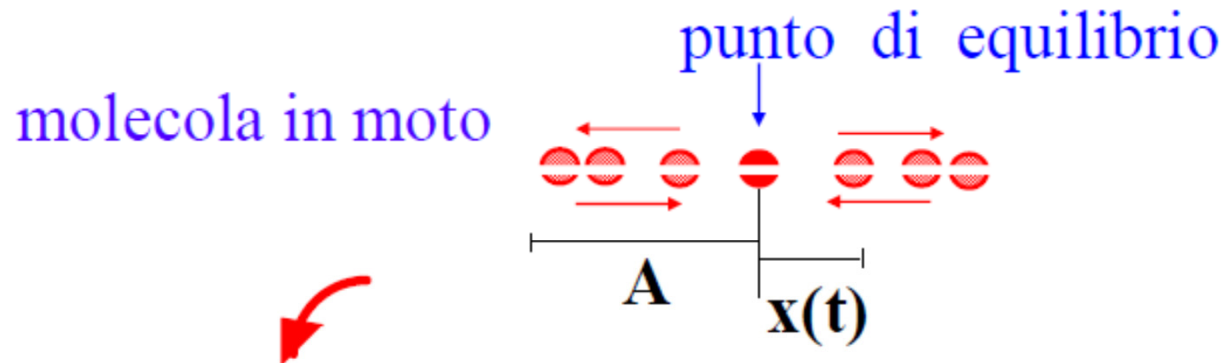
SUONO: vibrazione meccanica **elastica** delle particelle di un mezzo materiale (gas, liquido, solido)

- $x(t) = x(t + T)$ funzione periodica *generica*
- funzione periodica *semplice* :
 $x(t) = A \text{ sen } (\omega t + \phi)$
- moto armonico intorno alla posizione di equilibrio



SUONO

2



fluidi:
(*liquidi e gas*)

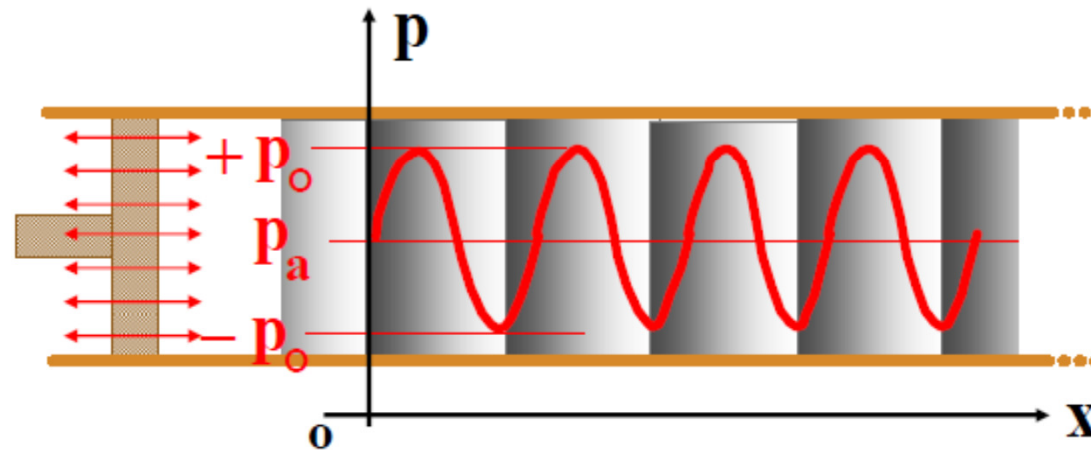
- spostamenti delle molecole
- addensamenti e rarefazioni
- compressioni e dilatazioni

onda di *pressione* che si propaga

PRESSIONE SONORA

1

pressione sonora *istantanea*:



in ogni posizione x , al variare del tempo ho un'onda di pressione del tipo:

$$p(t) = p_o \text{sen}(\omega t + \phi)$$

...e quindi una variazione di pressione:

$$\Delta p(t) = p(t) - p_a$$

$p_a =$ pressione dell'ambiente

(nell'aria è la pressione atmosferica)

La **velocità del suono varia in funzione del mezzo di propagazione; in generale, più è denso il materiale e maggiore è la velocità delle onde sonore al suo interno.**



Materiale	Velocità (m/s)
Alluminio	6420
Granito	6000
Acciaio	5960
Vetro Pyrex	5640
Rame	5010
Plastica	2680
Acqua dolce (20 °C)	1482
Acqua dolce (0 °C)	1402
Idrogeno (0 °C)	1284
Elio (0 °C)	965
Aria (20 °C)	343
Aria (0 °C)	331

VELOCITA' DEL SUONO

- per la velocità del suono v in un *gas* di densità d , si può ricavare che:

$$v = \sqrt{\frac{\gamma P_a}{d}}$$

p_a è la pressione dell'ambiente

Gas monoatomici: $\gamma=5/3$; gas biatomici e aria: $\gamma=7/5$

- In particolare, nell'aria ($p_a = 1 \text{ atm} = 10^5 \text{ Pascal}$, $\gamma = 1.4$, $d=1.2 \text{ kg/m}^3$):

$$v_{\text{aria}} \approx \sqrt{\frac{1.42 \cdot 10^5 \text{ Pa}}{1.2 \text{ kg m}^{-3}}} = 344 \text{ m s}^{-1}$$

in acqua, $v \sim 1450 \text{ m/s}$!

Le onde sonore possono avere qualsiasi **frequenza**; l'orecchio umano è in grado di udire suoni di frequenza **compresa tra 20 Hz e 20 000 Hz**

Suoni con frequenze superiori a 20 000 Hz sono detti *ultrasuoni*.

Suoni con frequenze inferiori a 20 Hz sono detti *infrasuoni*.

Gli ultrasuoni vengono utilizzati comunemente in ambito medico; gli elefanti e le balene comunicano – in parte – attraverso onde infrasoniche.

SUONO

3

onda sonora: vibrazione meccanica percepibile dal senso dell'udito (orecchio)

sensibilità dell'orecchio umano:

$20 \text{ Hz} \leq \nu < 2 \cdot 10^4 \text{ Hz}$

$$v = \lambda \nu$$

$$v_{\text{aria}} \sim 344 \text{ m s}^{-1} \Rightarrow 1.72 \text{ cm} < \lambda < 17.2 \text{ m}$$

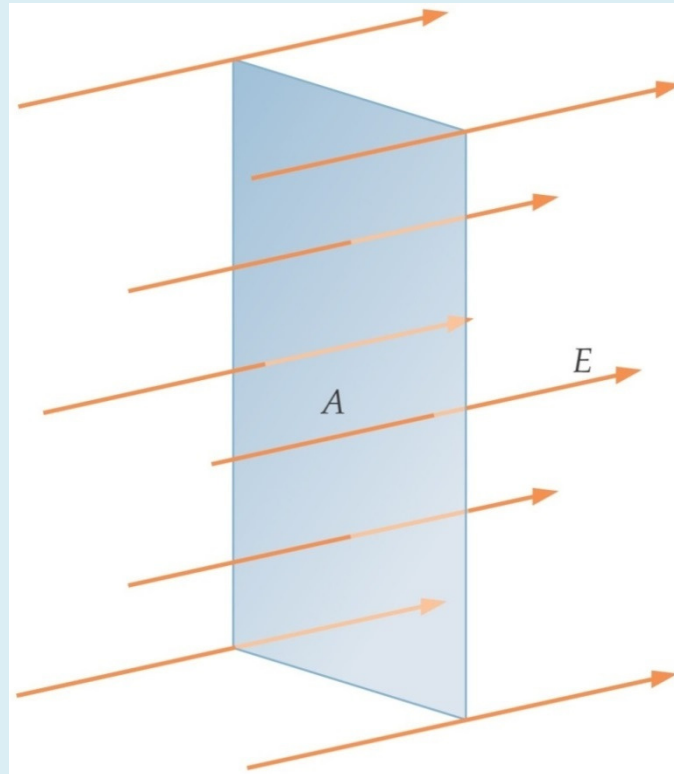
$$v_{\text{H}_2\text{O}} \sim 1450 \text{ m s}^{-1} \Rightarrow 7.25 \text{ cm} < \lambda < 72.5 \text{ m}$$

•(i rumori sono dati da vibrazioni *NON PERIODICHE*)

Intensità del suono

L'intensità di un suono è la quantità di energia che attraversa una data area in un dato intervallo di tempo.

$$I = \frac{E}{At}$$



Il **volume** di un suono è determinato dalla sua INTENSITA'

Esprimendola in funzione della potenza:

$$I = \frac{P}{A}$$

**Nel SI si misura in watt al metro quadrato
(W/m²)**

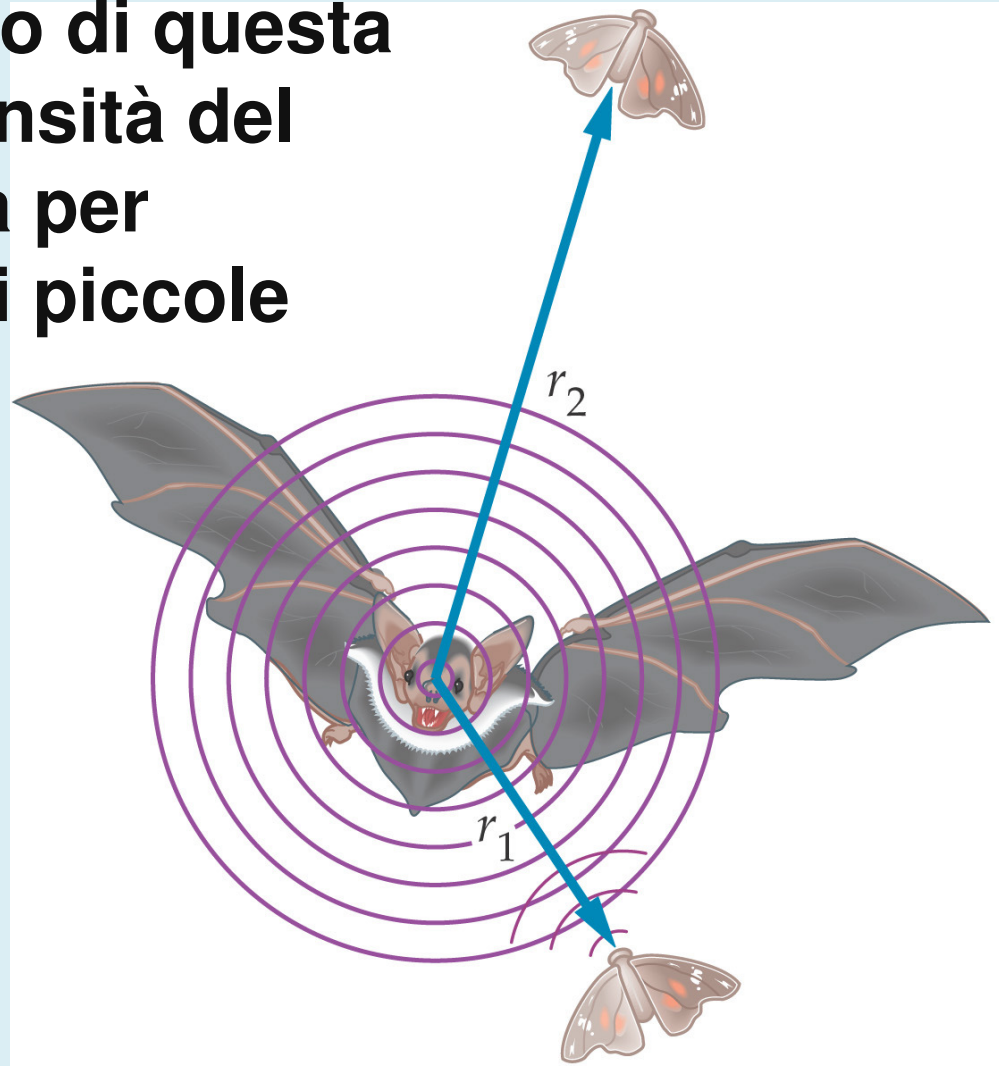
L'intensità del suono emesso da una sorgente puntiforme diminuisce con il quadrato della distanza

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

I pipistrelli si servono di questa dipendenza dell'intensità del suono dalla distanza per localizzare oggetti di piccole dimensioni al buio.

Legge degli inversi al quadrato

$$I_1/I_2 = r_2^2 / r_1^2$$



Intensità e volume del suono

Un suono che ci sembra due volte più forte (volume doppio) di un altro, in realtà, è dieci volte più intenso. Ovvero la nostra percezione del suono è tale che un aumento uniforme del volume corrisponde ad un fattore moltiplicativo (x 10) delle intensità.

Il volume è misurato attraverso il livello di intensità di un'onda sonora.

Per definire i livelli di intensità si utilizza una scala logaritmica

livello di intensità

Definizione di livello di intensità, β

$$\beta = (10 \text{ dB}) \log (I/I_0)$$

Nel SI si misura in decibel (dB), che è una grandezza adimensionale.

**I_0 è il valore minimo rilevabile
dell'intensità di un suono**

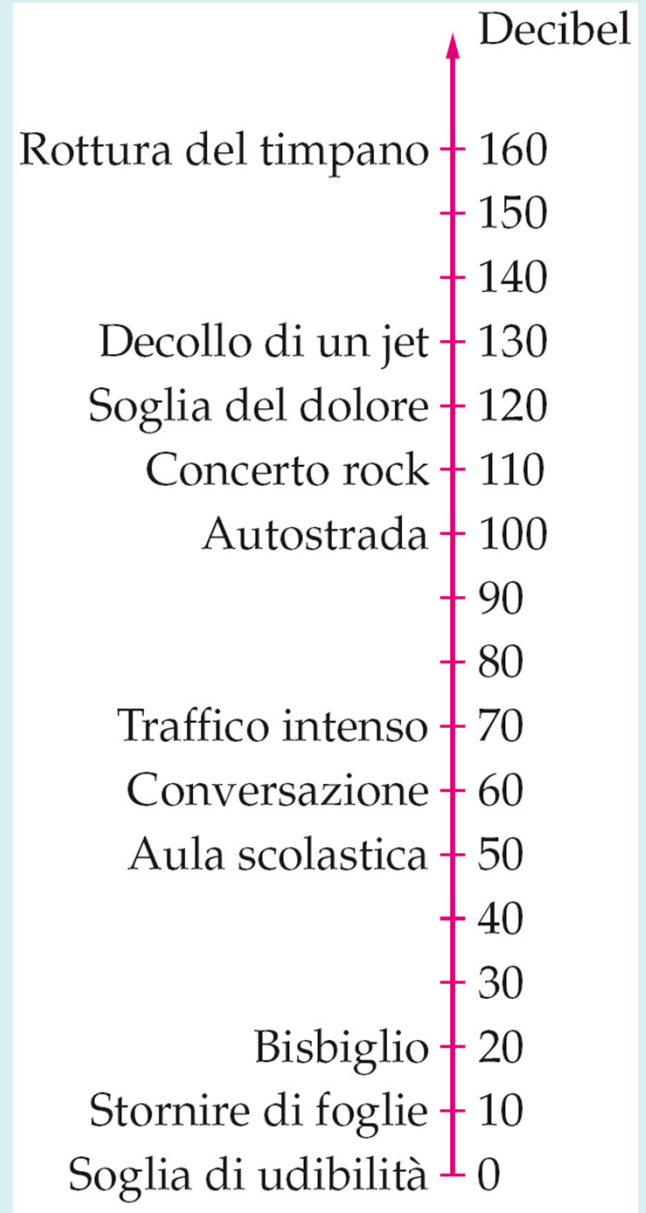
$$I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$$

Intensità di un suono

La quantità β è detta bel; di solito si usa il decibel, dB, che corrisponde a un decimo di bel.

Il volume di un suono raddoppia ogni volta che il livello di intensità aumenta di 10 dB.

$$\begin{aligned} I &= 100 I_0 \\ I &= 10 I_0 \\ I &= I_0 \end{aligned}$$



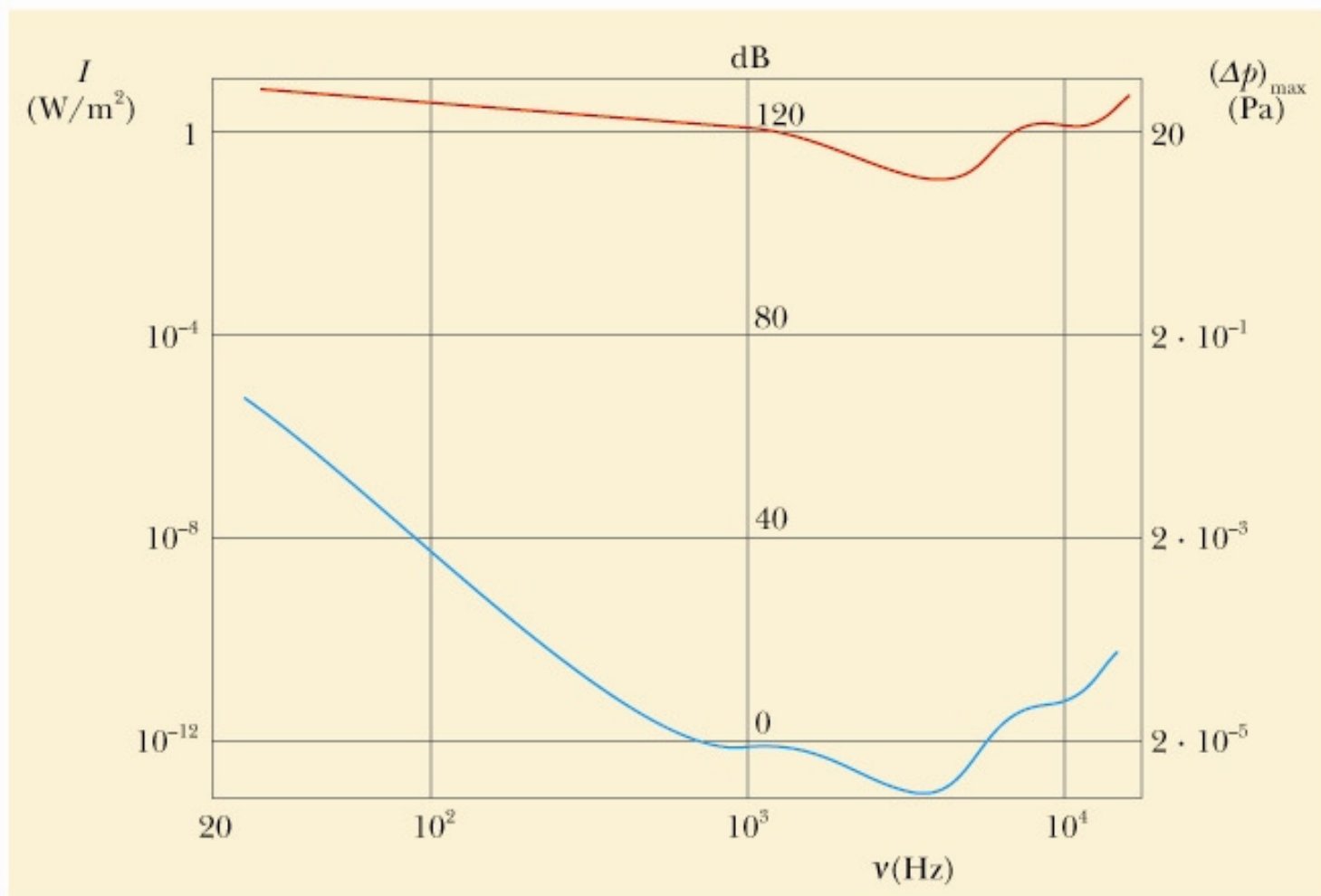


Figura 16.17

Caratteristiche fisiche dell'orecchio umano.



Mazzoldi - Nigro - Voci
Elementi di Fisica - Onde
EdiSES

Il treno si muove con velocità $u = 21.2 \text{ m/s}$ ed emette un suono di frequenza $f = 650,0 \text{ Hz}$.

L'osservatore fermo vicino all'ingresso del tunnel sente un suono di frequenza f' .

Determinare la frequenza eco f'' percepita dal macchinista.

ECO Doppler



effetto Doppler per sorgente in movimento

$$f' = \left(\frac{1}{1 \mp u/v} \right) f$$

f' = frequenza percepita dall'osservatore;
 f = frequenza emessa dal treno

u = velocità del treno

v = velocità dell'onda

Troviamo f' con la relazione per sorgente in movimento (con il segno **meno!**) Per lo spostamento doppler da f a f' .

Troviamo poi la frequenza eco utilizzando $f'' = (1 \pm u/v) f'$ con il segno **più**

$$\begin{aligned} f' &= \left(\frac{1}{1 - u/v} \right) f = \left(\frac{1}{1 - \frac{21,2 \text{ m/s}}{343 \text{ m/s}}} \right) (650,0 \text{ Hz}) = \\ &= \left(\frac{1}{1 - 0,0618} \right) (650,0 \text{ Hz}) = 693 \text{ Hz} \\ f'' &= (1 + u/v) f' = \left(1 + \frac{21,2 \text{ m/s}}{343 \text{ m/s}} \right) (693 \text{ Hz}) = \\ &= (1 + 0,0618) (693 \text{ Hz}) = 736 \text{ Hz} \end{aligned}$$

Suono

- **Def. suono:** vibrazione meccanica **elastica** delle particelle di un mezzo materiale (gas, liquido, solido)
- Nei fluidi: spostamenti delle particelle \Rightarrow addensamenti e rarefazioni \Rightarrow compressioni e dilatazioni \Rightarrow **onda di *pressione* che si propaga**
- Nei gas, $v = \sqrt{\gamma p_a / \rho}$. Nell'aria, **$v=344$ m/s**
- Il suono ha frequenze comprese **tra 20 e 20000 Hz**; oltre i 20000 Hz si hanno gli ultrasuoni, al di sotto dei 20 Hz si hanno gli infrasuoni