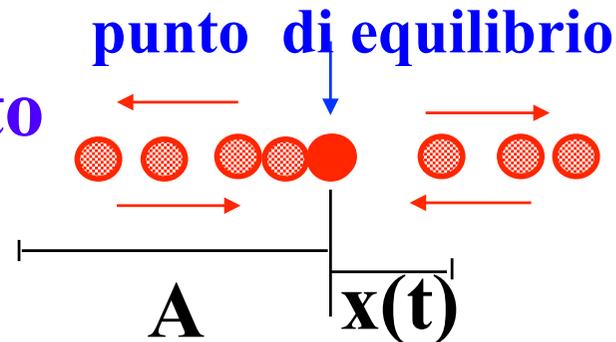


Il suono

suono : vibrazione meccanica delle particelle di un mezzo materiale (gas, liquido, solido)

molecola in moto



sono vibrazioni di/tra molecole: serve la materia!

fluidi :

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

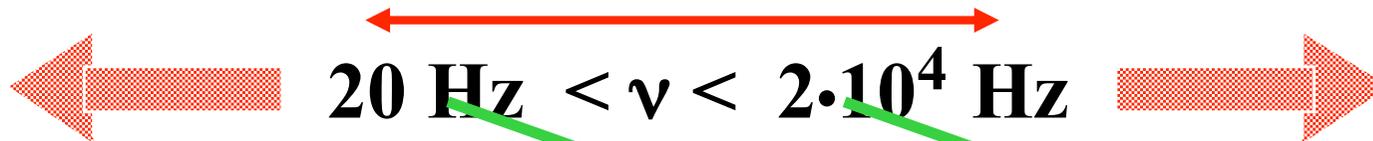
nel vuoto
il suono
non si propaga

onda di pressione

Caratteristiche del suono

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

sensibilità orecchio umano (20 Hz ÷ 20 kHz)



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

infrasuoni

ultrasuoni

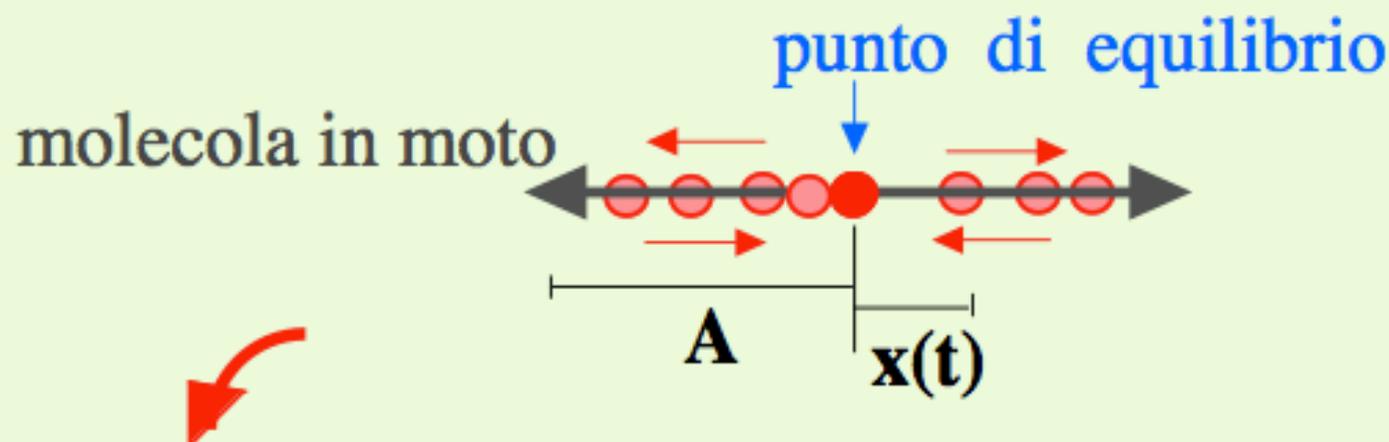
$$v = \lambda \nu$$

$$\left. \begin{array}{l} v_{\text{aria}} \\ v_{\text{acqua}} \end{array} \right\} = 344 \text{ m/s} \longrightarrow 17.2 \text{ m} < \lambda < 1.72 \text{ cm}$$
$$= 1450 \text{ m/s} \longrightarrow 72.5 \text{ m} < \lambda < 7.25 \text{ cm}$$

Caratteristiche di un suono:

altezza \rightarrow frequenza
timbro \rightarrow composizione armonica
intensità $\rightarrow E/(S \cdot t)$

SUONO



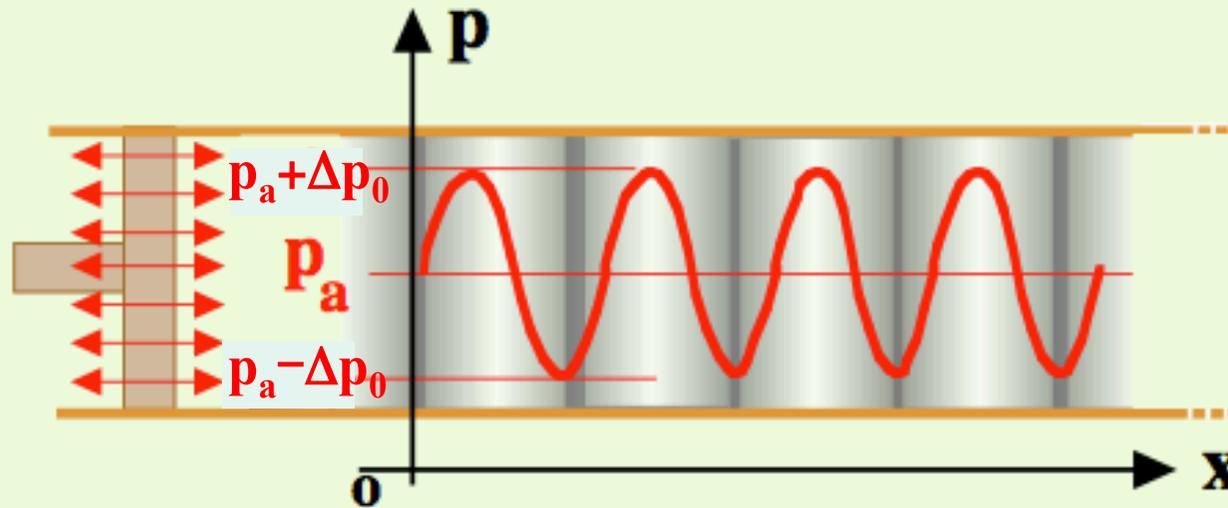
- fluidi :**
- spostamenti delle particelle
 - addensamenti e rarefazioni
 - compressioni e dilatazioni

$$S(t) \equiv p(t)$$

onda di pressione che si propaga

PRESSIONE SONORA

pressione sonora istantanea



$$p(t) = \Delta p_0 \sin(\omega t + \phi) + p_a$$

Δp_0 = ampiezza dell'onda
di pressione o
pressione sonora

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

p_a = pressione ambiente
(aria : pressione atmosferica)

VELOCITA' DEL SUONO

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

$$\gamma = \frac{c_p}{c_v}$$

d = densità del mezzo

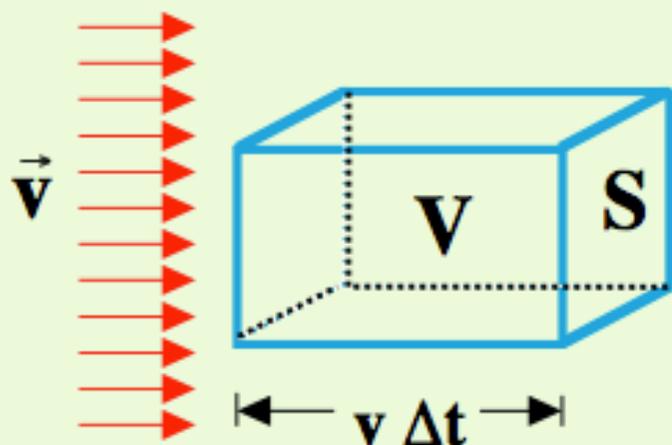
$c_{p,v}$ = calore specifico a
pressione, volume costante

esempio: valutazione della velocità del suono in aria

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

MATERIALE	VELOCITÀ	DENSITÀ
	m s^{-1}	kg m^{-3}
acciaio	7900	5800
osso	3760	1990
pelle	1537	1100
muscolo	1580	1041
grasso	1476	928
sangue	1584	1060
acqua	993	1527
aria	330	1.2

INTENSITA' SONORA



■ **oscillatore armonico :**

$$\begin{aligned} E &= \frac{1}{2} \omega^2 m A^2 = \frac{1}{2} V d \omega^2 A^2 = \\ &= \frac{1}{2} S v \Delta t d \omega^2 A^2 \end{aligned}$$

$$\Delta p_o = A \omega v d$$

$$I = \frac{E}{S \Delta t} = \frac{1}{2} v d \omega^2 A^2 = \frac{1}{2} \frac{\Delta p_o^2}{v d}$$

$$\Delta p_o^2 = 2 I v d \longrightarrow \Delta p_o = \sqrt{2 I v d}$$

INTENSITA' SONORA

$$\Delta p_0^2 = 2 I v d \longrightarrow \Delta p_0 = \sqrt{2 I v d}$$

I = intensità sonora

■ sorgente puntiforme a distanza r :

$$I = \frac{E}{4\pi r^2 \Delta t} \longrightarrow \frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$$

- unità di misura: S.I. $\frac{\text{watt}}{\text{m}^2}$

ULTRASUONI

ultrasuoni :

vibrazioni meccaniche $\nu > 2 \cdot 10^4$ Hz

(non udibili da orecchio umano)

■ **produzione artificiale :**

cristalli piezoelettrici

(titanato di bario, zirconato di piombo)

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}(t)$$

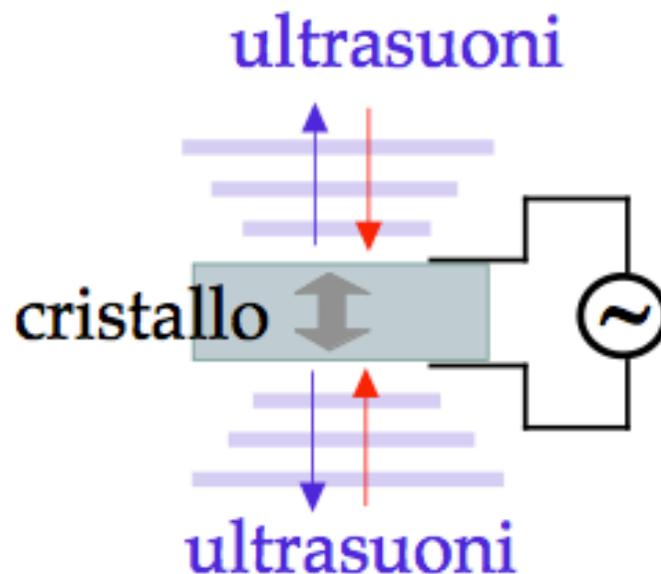


$$\mathbf{x} = \mathbf{x}(t)$$

campo elettrico



vibrazione meccanica



ULTRASUONI

ultrasuoni

aria

acqua

ν	λ	λ
100 kHz	3.4 mm	14.5 mm
1 MHz	0.34 mm	1.45 mm
10 MHz	34 μm	0.145 mm
100 MHz	3.4 μm	14.5 μm
1 GHz	0.34 μm	1.45 μm

λ piccola \rightarrow propagazione rettilinea

raggi ultrasonori: le onde ultrasonore sono altamente direzionali

ASSORBIMENTO ULTRASUONI

- intensità I : $10^{-4} \text{ W cm}^{-2} < I < 10 \text{ W cm}^{-2}$
(ultrasuoni di impiego medico e industriale)

■ assorbimento (dopo attraversamento spessore x)

$$I(x) = I_0 e^{-\alpha x}$$

$$\alpha = \alpha(\nu)$$

$$\alpha \propto \nu \quad (\nu = 0.5 \div 15 \text{ MHz})$$

finestra acustica

	1 MHz	α (cm ⁻¹)
acqua		0.0006
plasma		0.014
sangue intero		0.04
muscolo scheletrico		0.45
fegato		0.34
rene		0.44
tessuto adiposo		0.26

ULTRASUONI IN TERAPIA

- **effetto termico localizzato**
- **disgregazione depositi Ca**
(odontoiatria - tartaro)
- **litotrisione** (frantumazione di calcoli renali)
- **distruzione placca aterosclerotica**
(chirurgia vascolare)
- **disgregazione cristallino**
(oculistica - cataratta)



ULTRASUONI IN DIAGNOSTICA

- **flussimetria non invasiva**
- **ecografia** (immagini)
- **frantumazione artificiale cellule**
(isolare e degradare strutture cellulari)



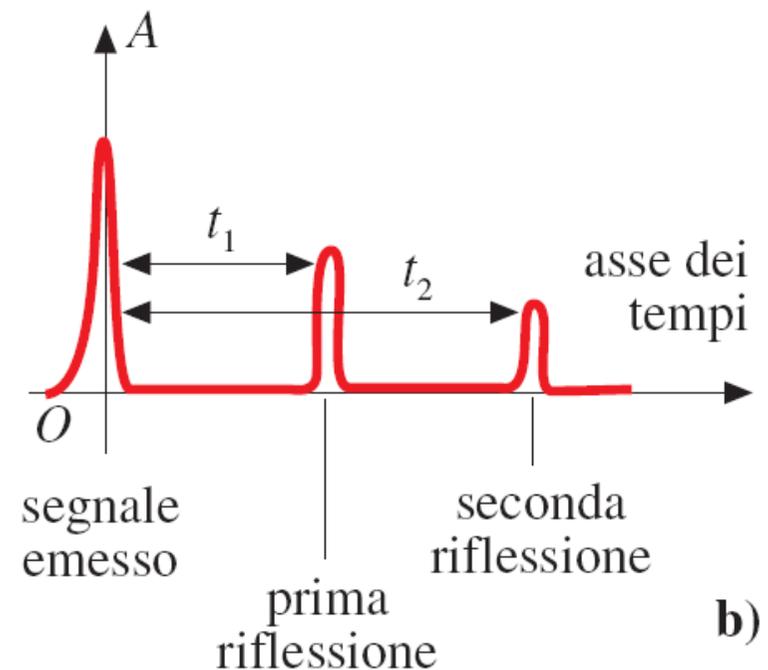
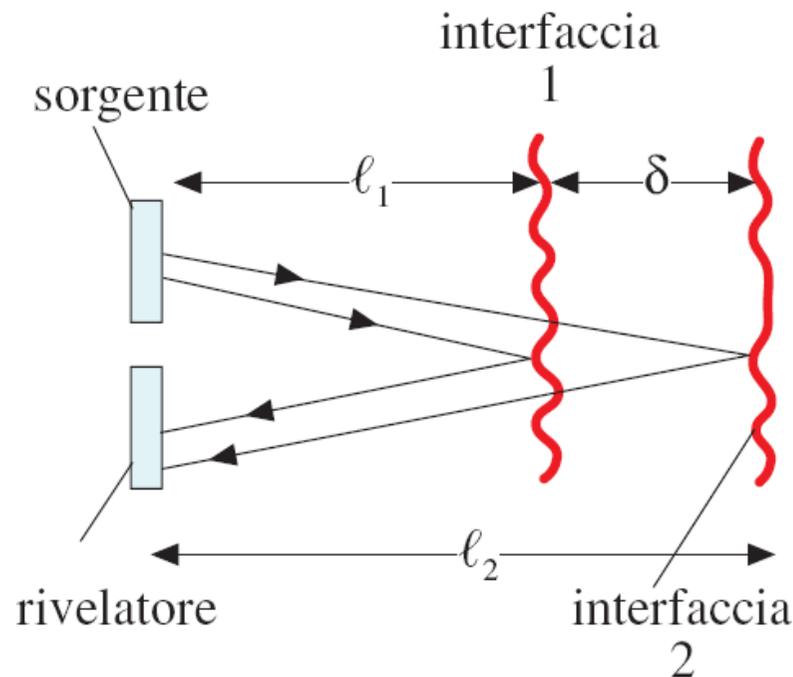
Ecografia

L'ecografia è una tecnica basata sulla riflessione da parte di interfacce tra mezzi acustici diversi attraversati da un fascio ultrasonoro.

Misura della distanza tra le interfacce tramite i diversi tempi di rivelazione delle vibrazioni riflesse (echi)

(nota la velocità di propagazione delle onde ultrasonore nel mezzo).

Al tempo zero è mostrato l'impulso emesso di ampiezza A .



b)