

# Acustica

*Esperimentazioni I*  
*a.a. 2023-2024*

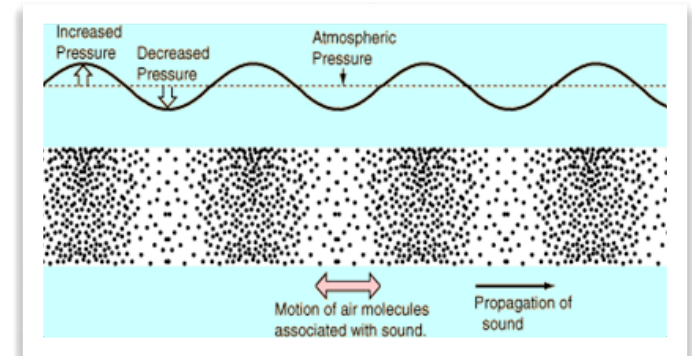
# Obiettivo

 Calcolare la **velocità del suono in aria**

 Calcolare la **velocità del suono nei solidi**, usando aste di diversi materiali (rame, ottone, alluminio, acciaio)

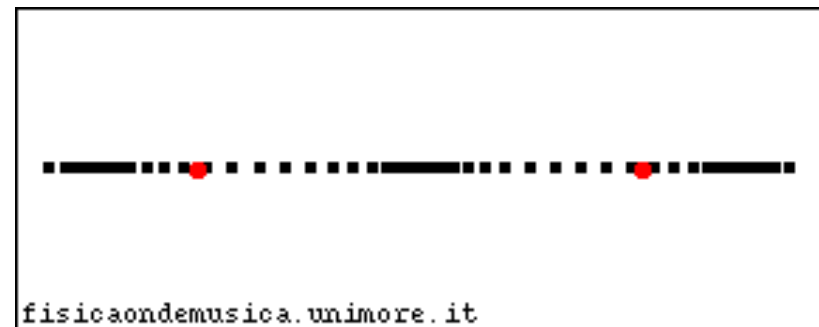
# Suono

📌 **Suono** = rapida **variazione di pressione** (compressione e rarefazione) intorno al valore della  $p_{\text{atm}}$  in quel punto.



📌 Le onde sonore si possono propagare in solidi, liquidi e gas: le particelle del mezzo entrano in vibrazione, propagando la perturbazione alle particelle vicine.

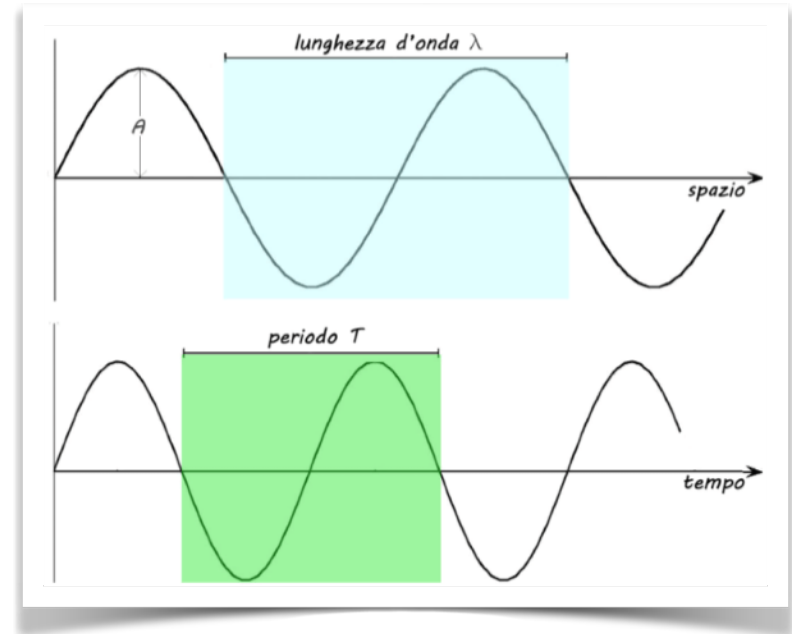
📌 Ogni particella del mezzo in cui si propaga l'onda oscilla lungo la direzione di propagazione, cioè nella stessa direzione in cui si muove l'onda.  
→ le onde sonore sono **longitudinali**



# Suono

📌 **Equazione onde:**  $y = A \sin(kx - \omega t)$  con:

- 📌 **A** ampiezza,
- 📌 **k** numero d'onda =  $2\pi/\lambda$ ,  
con  $\lambda$  lunghezza d'onda,
- 📌  **$\omega$**  pulsazione =  $2\pi\nu = 2\pi/T$ ,  
con T periodo



📌 **Soglia di udibilità:**  $A > 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$  e  $20 < \nu < 20\,000 \text{ Hz}$ .

# Velocità del suono in un gas

📌 La velocità delle onde sonore in un mezzo è:  $\mathcal{V} = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$

con:

📌  $B = \Delta p / (\Delta V / V)$  "modulo di compressione";

📌  $\rho$  densità del mezzo.

📌 **In un gas** (x es. aria) B può essere espresso in funzione della pressione di equilibrio  $p_0$ :  $\mathcal{V} = \sqrt{\frac{\gamma p_0}{\rho}}$  con  $\gamma = c_p / c_v$ , quindi  $\mathcal{V} = \sqrt{\frac{\gamma p_0}{\rho}} = \sqrt{\frac{\gamma R T}{M_0}}$

con  $M_0$  peso molecolare del gas, T espressa in K,  $R = 8.314 \text{ [J K}^{-1} \text{mol}^{-1}]$

$$\rightarrow \mathcal{V} = \alpha \sqrt{T} \text{ con } \alpha = 20.055 \text{ m s}^{-1} \text{K}^{-1/2}$$

# Velocità del suono nei solidi

📌 La velocità delle onde sonore in un mezzo è  $\mathcal{V} = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$

con:

- 📌  $B = \Delta p / (\Delta V / V)$  "modulo di compressione";
- 📌  $\rho$  densità del mezzo.

📌 **In un mezzo solido** in cui la lunghezza prevale sulle altre dimensioni, ad esempio una sbarra sottile,  $B$  è sostituito dal modulo di Young  $Y$ :




$$\mathcal{V} = \sqrt{\frac{Y}{\rho}}$$

# PRIMA PARTE

Velocità del suono  
in aria

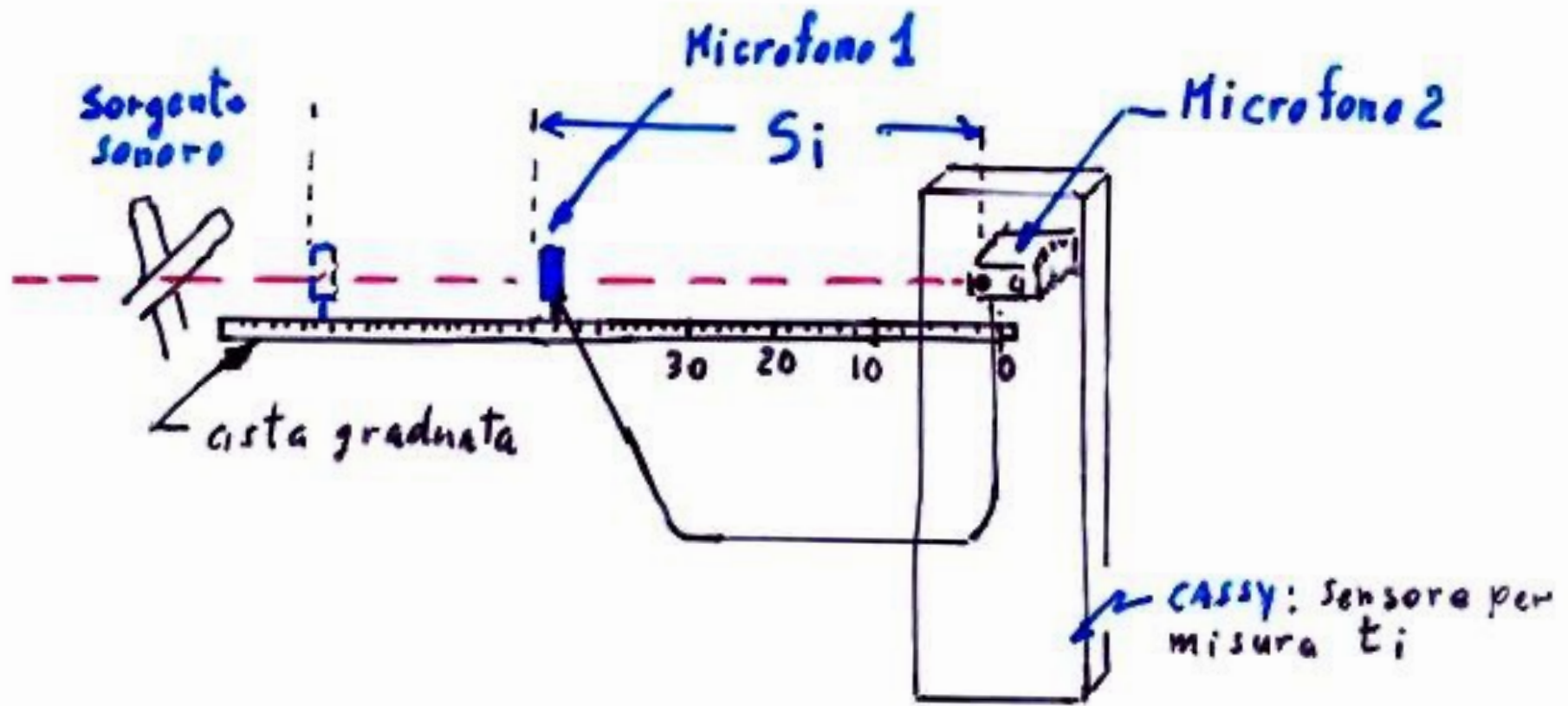
# Apparato sperimentale

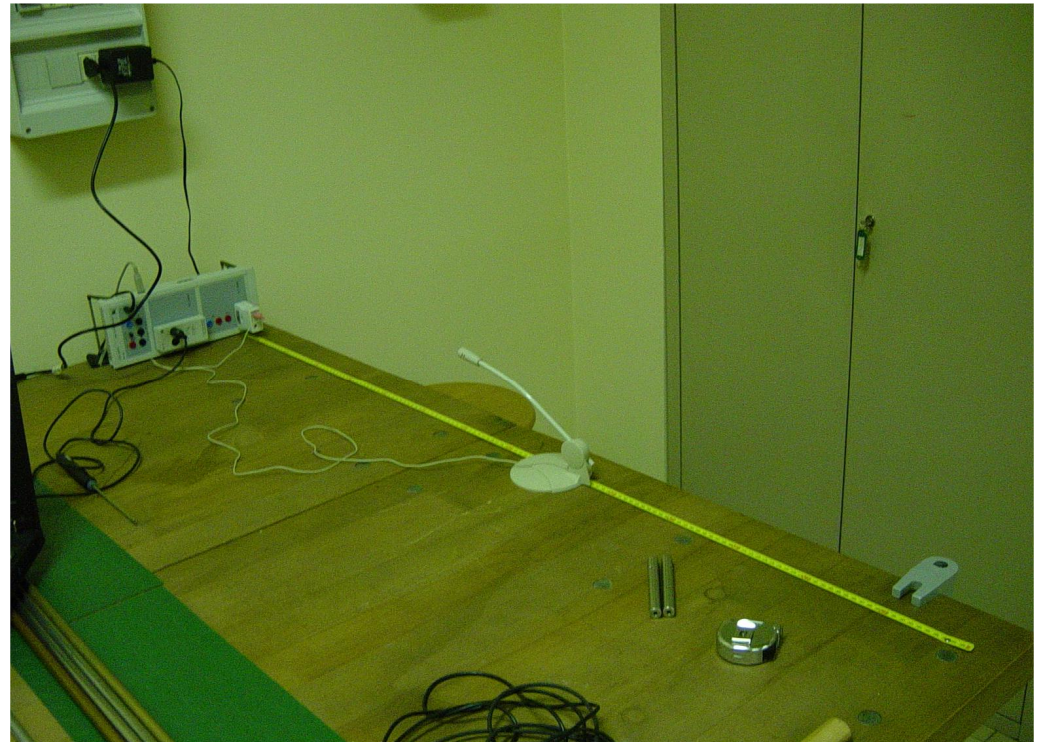
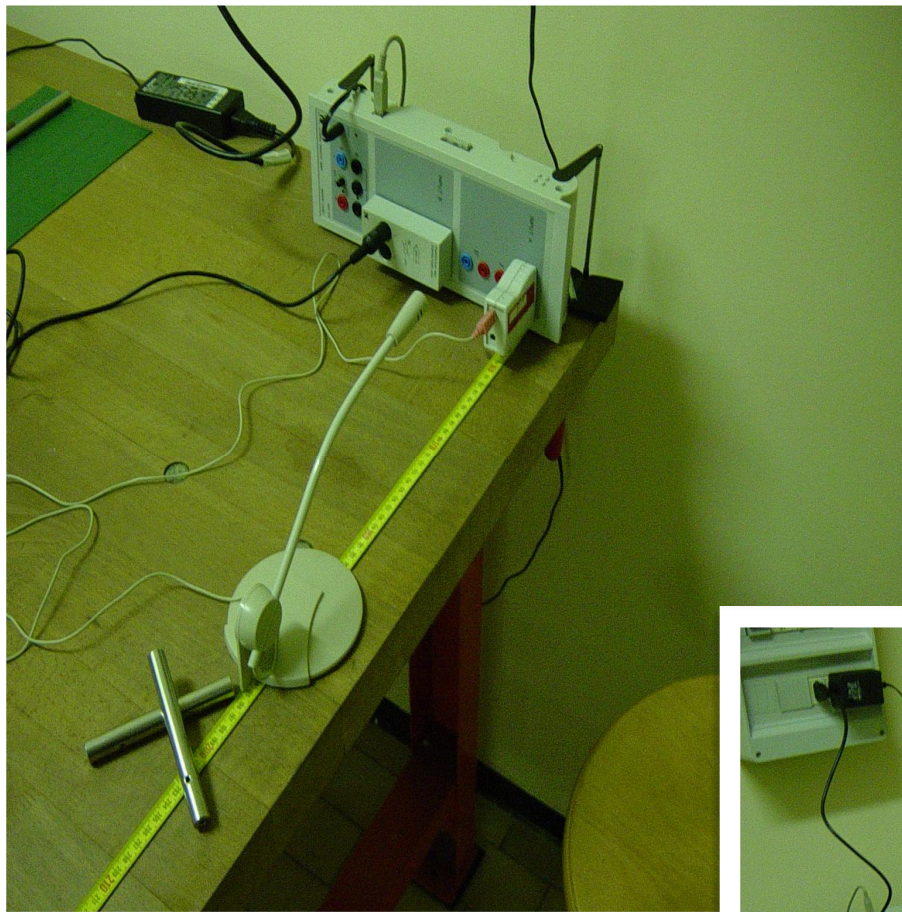
 Il sistema è costituito da:

-  un **sistema adatto a produrre un segnale sonoro** che si propaga nell'aria: 2 barrette metalliche
-  **2 microfoni**, uno fisso ed uno mobile, che possono essere posti a distanza variabile e misurabile
-  un **sistema di acquisizione dei tempi** impiegati del suono a percorrere la distanza fra i due microfoni



# Apparato sperimentale





# Procedura sperimentale



La velocità di propagazione è funzione della **temperatura**  
→ prendere nota di  **$T_{lab}$**



Posizionare il microfono mobile a  $d = 30\text{ cm}$  da quello fisso, battere  **$\sim 20$  volte** le 2 barrette metalliche e **misurare  $\Delta t$**  impiegato dal suono a propagarsi tra i microfoni

● Per ogni serie il sistema fornisce media e dev. std della media (che serve a rigettare misure irregolari)



Acquisire **10 serie di tempi** → calcolare  **$\Delta t_m$  e errore**

# Procedura sperimentale



**Spostare il microfono mobile di 15 cm** e ripetere l'intera procedura:

- 10 serie x la posizione iniziale / finale / intermedia;
- 3 serie x le altre posizioni.



Per le posizioni con 10 serie di dati:

- verificare che i diversi campioni appartengano alla stessa popolazione  
→ **test di Fisher**
- stimare l'**errore relativo** sui tempi di percorrenza



Come varia **errore relativo** al crescere di  $d$ ? Dovrebbe diminuire... ma non succede se operatore influisce sulla misura

# Come determinare la velocità



Ottenuto il tempo di percorrenza per ogni distanza, si ricava la velocità attraverso il **fit dei punti (d,t)** → scegliere opportunamente la variabile indipendente



Se la retta non passa per l'origine, può esistere un **errore sistematico** dovuto alla non perfetta identificazione della **posizione del microfono fisso**



L'errore sistematico può essere ridotto considerando differenze di spazi percorsi  $(x_i - x_1)$ , anziché le posizioni  $x_1, x_2, \dots$



# Valori di riferimento



Considerando l'influenza della temperatura la velocità risulta:

$$v = \alpha \sqrt{T}$$

dove  $\alpha$  racchiude le caratteristiche del mezzo e, nel caso dell'aria, vale **20,055 m s<sup>-1</sup> K<sup>-1/2</sup>**

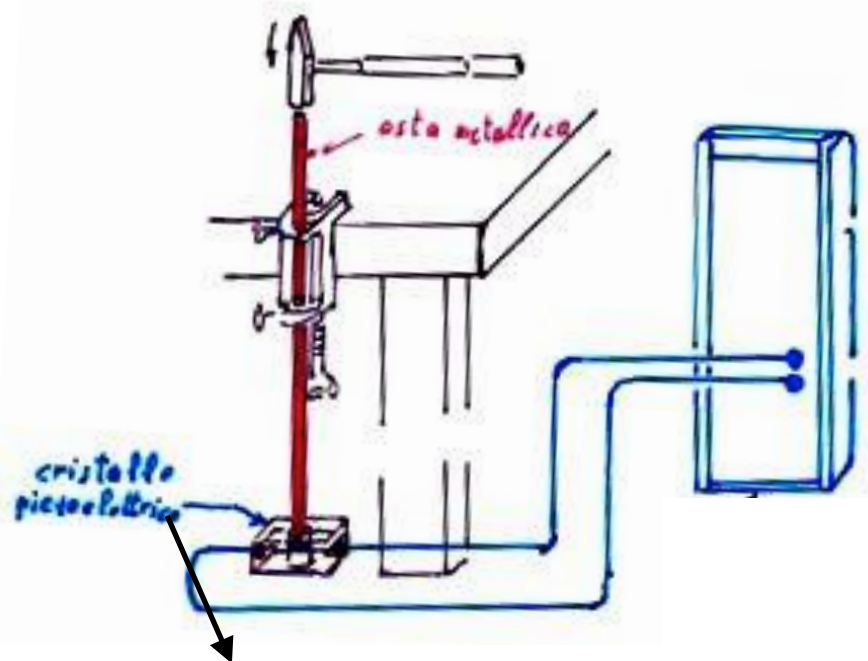
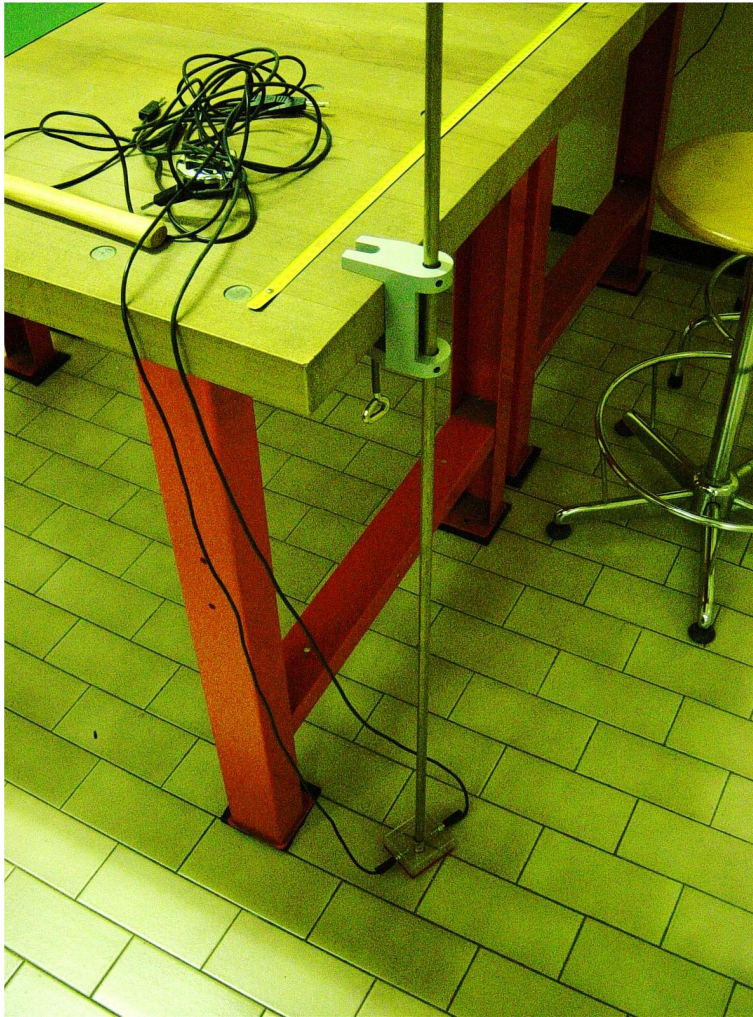


Confrontare il valore ottenuto sperimentalmente con quello atteso

# SECONDA PARTE

## Velocità del suono nei solidi

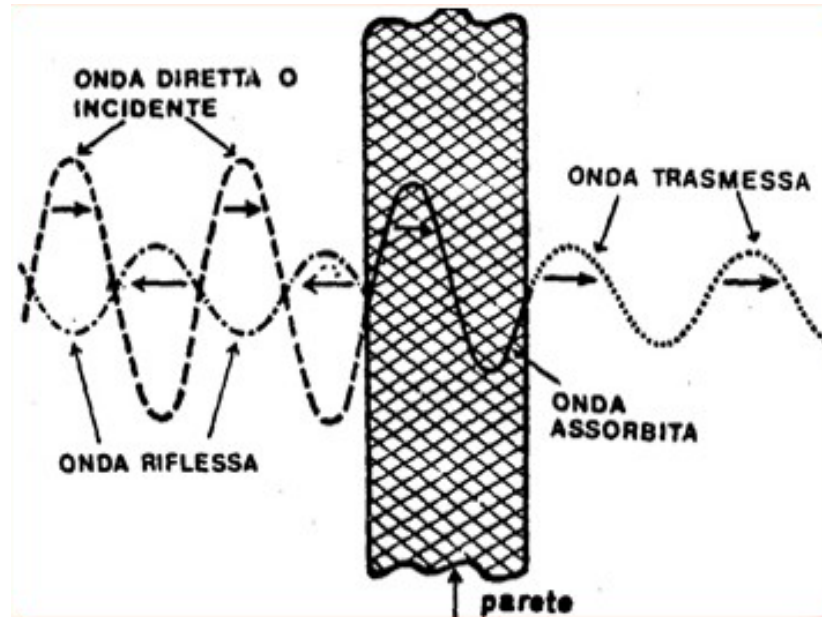
# Velocità del suono nei solidi



Converte le onde di pressione in  
un segnale di tensione  $V$  (Volt)



# Velocità del suono nei solidi



## Assunzioni:

- 🔊 I mezzi non assorbono energia
- 🔊 Ampiezza e frequenza non cambiano
- 🔊 Sulla superficie di separazione ( $x=0$ ) la propagazione rimane **continua**:
  - 🔊 spostamento a  $dx$  = spostamento a  $sx \rightarrow y_i + y_r = y_t$
  - 🔊 velocità trasv. a  $dx$  = velocità trasv. a  $sx \rightarrow dy_i/dx + dy_r/dx = dy_t/dx$

# Velocità del suono nei solidi

$$\begin{cases} y : A_i \sin(k_1 x - \omega t) + A_r \sin(k_2 x + \omega t) = A_t \sin(k_2 x - \omega t) \\ \frac{dy}{dx} : k_1 A_i \cos(k_1 x - \omega t) + k_1 A_r \cos(k_1 x + \omega t) = k_2 A_t \cos(k_2 x - \omega t) \end{cases}$$

📌 In  $x=0$ : 
$$\begin{cases} -A_i \sin \omega t + A_r \sin \omega t = -A_t \sin \omega t \\ k_1 A_i \cos \omega t + k_1 A_r \cos \omega t = k_2 A_t \cos \omega t \end{cases} \longrightarrow \begin{cases} -A_i + A_r = -A_t \\ k_1 A_i + k_1 A_r = k_2 A_t \end{cases}$$

📌 Poniamo  $A_r/A_i = r$  e  $A_t/A_i = t$

$$\begin{cases} -1 + r = -t \\ k_1 + k_1 r = k_2 t \end{cases} \longrightarrow r = \frac{k_2 - k_1}{k_2 + k_1}$$

📌 Definiamo il coefficiente di riflessione  $R=r^2$ , tale che  $R+T=1$ :

- Se  $k_1 \gg k_2$  (o  $k_2 \gg k_1$ ):  $R=1$  e  $T=0$
- Se  $k_1 = k_2$ :  $R=0$  e  $T=1$

# Velocità del suono nei solidi



In lab:  $T \sim 0$  e  $R \sim 1 \rightarrow$  l'onda, giunta alla **superficie di separazione** fra metallo ed aria, viene **in gran parte riflessa** all'interno della barra









Il sistema di presa dati utilizza il tempo di percorrenza del suono da un'estremità all'altra della barra e ritorno ( $\Delta x = 2l$ )



Il fenomeno si ripete varie volte, prima che l'intensità dell'onda diminuisca sensibilmente

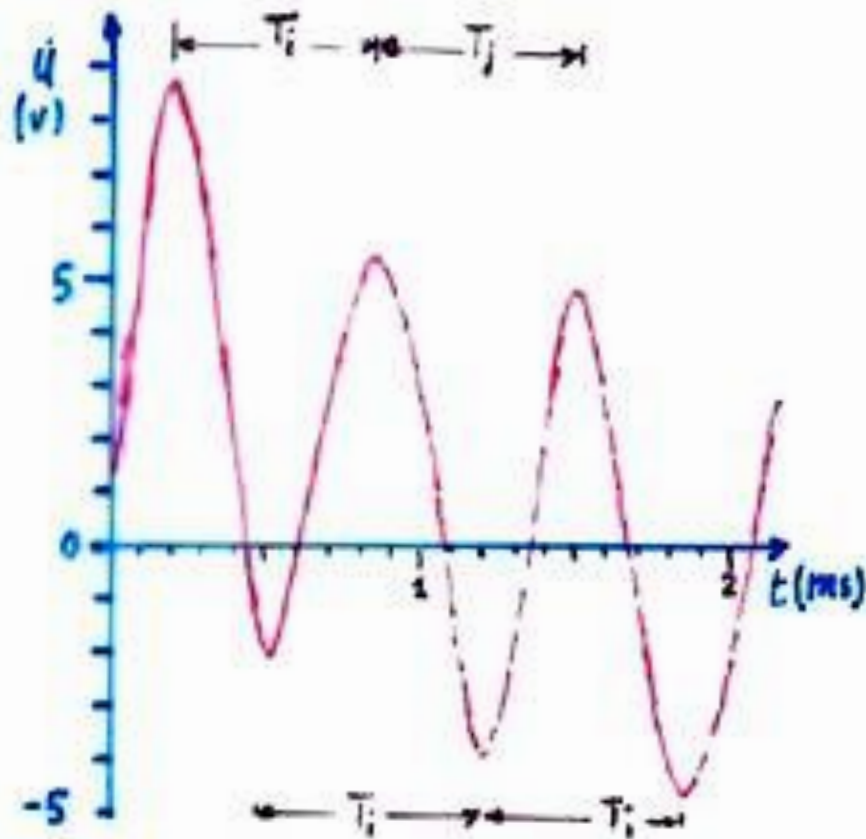
# Procedura sperimentale

-  Misurare la lunghezza delle barre metalliche messe a disposizione
-  Posizionare una delle barre appoggiandola sul cristallo piezoelettrico
-  Avviare la misura e percuotere l'estremo superiore della barra con un martelletto
-  Visualizzare i dati acquisiti sul PC e annotare i **tempi dei massimi e/o minimi** dell'oscillazione
-  Ripetere l'acquisizione 2-3 volte, in modo da registrare **15-20 T**
-  Ripetere l'intera procedura per le altre barre metalliche


# Procedura sperimentale





Si misurano  **$\sim 15$  periodi** (ripetendo più volte la percussione) e se ne calcola il **valor medio**





# Utilizzo dei dati sperimentali


 E' possibile **confrontare** la velocità di propagazione del suono in due **barre dello stesso materiale**, ma di **lunghezza diversa**

 E' possibile **confrontare** la velocità di propagazione del suono in barre di materiali diversi **con i valori comunemente accettati** per la propagazione del suono in quei materiali:

  $V_{acciaio} = 4900 \text{ m/s}$

  $V_{ottone} = 3500 \text{ m/s}$

  $V_{rame} = 3900 \text{ m/s}$

  $V_{alluminio} = 5000 \text{ m/s}$