

# Laboratorio di Fisica 1

## R12: Misura della velocità del suono

Gruppo 15: Bergamaschi Riccardo, Graiani Elia, Moglia Simone

28/05/2024 – 04/06/2024

### Sommario

Il gruppo di lavoro ha misurato la velocità del suono mediante un apparato sperimentale detto “tubo di Kundt”, sfruttando due fenomeni ondulatori: risonanza ed eco.

## 0 Materiali e strumenti di misura utilizzati

Strumento di misura	Soglia	Portata <sup>1</sup>	Sensibilità
Metro a nastro	0.1 cm	300.0 cm	0.1 cm
Calibro ventesimale	0.05 mm	150.00 mm	0.05 mm
Termometro ambientale	0.5 °C	+50.0 °C −20.0 °C	0.5 °C
Oscilloscopio <sup>2</sup>	2.5 ms	N./A.	2.5 ms

Altro	Descrizione/Note
Tubo in plastica	Nel quale facciamo propagare le onde sonore.
Pistone	Mobile, utilizzato per chiudere un'estremità del tubo.
Generatore di onde	Ci permette di regolare frequenza, ampiezza e forma d'onda delle onde generate.
Altoparlante	Posto a un'estremità del tubo, riceve un segnale elettrico dall'oscilloscopio e, vibrando, lo emette sottoforma di onde sonore.
Microfono a condensatore	Mobile, utilizzato per rilevare le onde di pressione.
Oscilloscopio	Riceve le onde sottoforma di segnali elettrici, sia dal generatore che dal microfono: permette quindi di visualizzare sia la forma d'onda emessa che quella rilevata.

<sup>1</sup>Più precisamente, gli estremi dell'intervallo di funzionamento (si veda, in particolare, il termometro).

<sup>2</sup>Riportiamo qua la sensibilità della scala temporale più ridotta che abbiamo utilizzato.

# 1 Misura mediante le frequenze di risonanza

## 1.1 Esperienza e procedimento di misura

Ripetiamo cinque volte i seguenti passaggi (la prima, lasciando il tubo aperto; le altre, chiudendo l'estremità opposta all'altoparlante tramite il pistone):

1. Mediante il termometro, misuriamo la temperatura ambiente  $T_{\text{amb}}$ .
2. Con il metro a nastro, misuriamo la lunghezza  $L$  della colonna d'aria all'interno del tubo, mentre con il calibro ventesimale il diametro interno di quest'ultimo  $\varnothing = (38.20 \pm 0.05) \text{ mm}$ .
3. Accesi l'oscilloscopio e il generatore di onde, impostiamo una forma d'onda sinusoidale; regoliamo poi l'ampiezza in modo da poter percepire un suono.
4. Inseriamo il microfono dentro al tubo in modo che riesca a rilevare le onde chiaramente, assicurandoci che, in presenza di onde stazionarie, non si trovi in corrispondenza di un nodo.
5. Aumentiamo la frequenza fino a trovare, mediante l'oscilloscopio, il primo massimo relativo nell'ampiezza del segnale rilevato dal microfono: questa sarà la prima frequenza di risonanza, ovvero l'armonica fondamentale.
6. Ripetiamo più volte il passaggio precedente, in modo da ottenere le prime armoniche (multiple della fondamentale).

## 1.2 Analisi dei dati raccolti

**Nota.** Avendo valutato gli errori sulle grandezze misurate direttamente come piccoli, casuali e indipendenti, per svolgere ogni calcolo abbiamo utilizzato, qui e successivamente, la tradizionale propagazione degli errori.

La frequenza emessa è una delle frequenze di risonanza del tubo se e solo se all'interno di quest'ultimo si forma un'onda stazionaria. In tal caso:

- se il tubo è aperto a entrambi gli estremi, lì la pressione è costante (quella atmosferica) e si formano due nodi. La lunghezza d'onda sarà allora della forma:

$$\lambda_n^a = \frac{2L}{n}, \quad n \in \mathbb{N}$$

- se invece il tubo è chiuso ad un estremo, lì si forma un ventre, mentre all'altro estremo (dove la pressione è quella atmosferica, costante) si forma un nodo:

$$\lambda_n^c = \frac{4L}{n}, \quad n \in \mathbb{N} \text{ dispari}$$

Tuttavia, non trattandosi di nodi e ventri ideali, è necessario effettuare una correzione empirica:

$$\lambda_n^a = \frac{2L + 1.6\varnothing}{n}, \quad n \in \mathbb{N}; \quad \lambda_n^c = \frac{4L + 1.6\varnothing}{n}, \quad n \in \mathbb{N} \text{ dispari}$$

Moltiplicando ambo i membri per la rispettiva frequenza di risonanza ( $\nu_n^a$  o  $\nu_n^c$ ) e ricordando che  $\lambda_n^a \nu_n^a = \lambda_n^c \nu_n^c = v$ , la velocità del suono:

$$v = \frac{\nu_n^a}{n}(2L + 1.6\varnothing), \quad n \in \mathbb{N}; \quad v = \frac{\nu_n^c}{n}(4L + 1.6\varnothing), \quad n \in \mathbb{N} \text{ dispari}$$

Riarrangiando i termini, si ottiene:

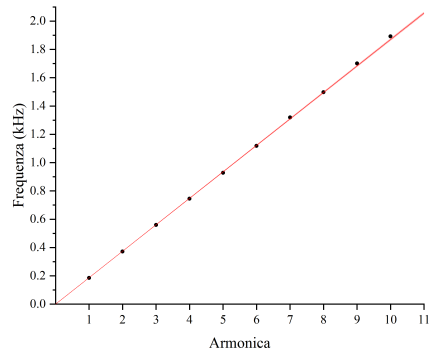
$$\nu_n^a = \xi^a n, \quad n \in \mathbb{N}; \quad \nu_n^c = \xi^c n, \quad n \in \mathbb{N} \text{ dispari}$$

avendo posto, rispettivamente:

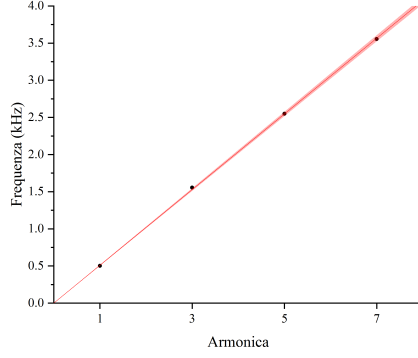
$$\xi^a = \frac{v}{2L + 1.6\varnothing}; \quad \xi^c = \frac{v}{4L + 1.6\varnothing}$$

Poiché la dipendenza di  $\nu_n$  da  $n$  è, in entrambi i casi, di proporzionalità diretta, per determinare  $\xi^a$  e  $\xi^c$  il gruppo di lavoro ha effettuato, per ogni valore di  $L$ , una regressione lineare, fissando l'intercetta a 0.

Di seguito riportiamo, in grafico, i dati raccolti, accompagnati dalle rispettive rette di regressione e dai valori di  $L$ ,  $\xi$  e  $v$  ottenuti.



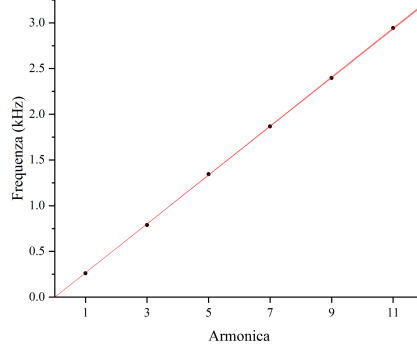
$$\begin{aligned} L &= (90.0 \pm 0.1) \text{ cm (tubo aperto)} \\ \xi^a &= (187.004 \pm 0.008) \text{ Hz} \\ v &= (348.0 \pm 0.5) \text{ m/s} \end{aligned}$$



$$L = (15.4 \pm 0.1) \text{ cm}$$

$$\xi^c = (509.5 \pm 0.1) \text{ Hz}$$

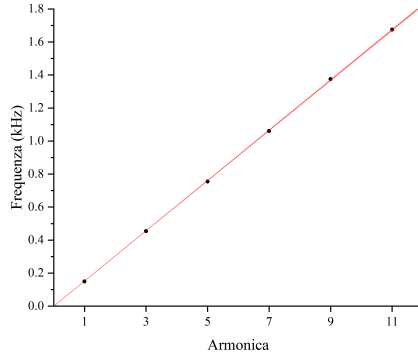
$$v = (345 \pm 2) \text{ m/s}$$



$$L = (30.8 \pm 0.1) \text{ cm}$$

$$\xi^c = (267.00 \pm 0.06) \text{ Hz}$$

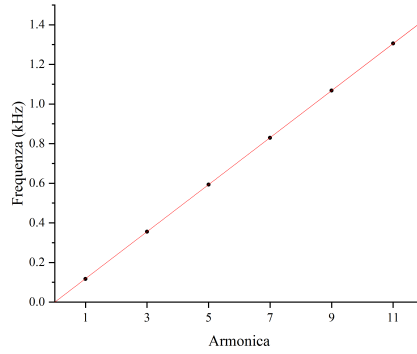
$$v = (345.3 \pm 1.1) \text{ m/s}$$



$$L = (55.4 \pm 0.1) \text{ cm}$$

$$\xi^c = (152.12 \pm 0.06) \text{ Hz}$$

$$v = (346.4 \pm 0.7) \text{ m/s}$$



$$L = (71.3 \pm 0.1) \text{ cm}$$

$$\xi^c = (118.64 \pm 0.06) \text{ Hz}$$

$$v = (345.6 \pm 0.6) \text{ m/s}$$

*In rosso le rette di regressione e in rosa le rispettive regioni di incertezza. Le barre di errore, pur riportate, sono troppo ridotte per risultare visibili.*

**Osservazione.** È immediato notare, sulla base di questi grafici, che le rette di regressione, passanti per l'origine, descrivono accuratamente i dati raccolti: ciò suggerisce che la frequenza di risonanza più bassa da noi misurata sia effettivamente la fondamentale.

### 1.3 Conclusioni

Per valutare l'affidabilità delle misure di  $v$  ottenute è possibile confrontarle con la velocità del suono attesa  $v_{\text{att}}$ , calcolata sulla base della temperatura ambientale  $T_{\text{amb}}$  durante l'esperienza, mediante una relazione empirica:

$$v_{\text{att}}(T_{\text{amb}}) = (331.5 + 0.607^\circ\text{C}^{-1} T_{\text{amb}}) \text{ m/s}$$

Per quanto riguarda la prima misura, l'unica col tubo aperto, la temperatura misurata era  $T_{\text{amb}}^{\text{a}} = (26.0 \pm 0.5) ^\circ\text{C}$ : ne segue che  $v_{\text{att}}^{\text{a}} = (347.3 \pm 0.3) \text{ m/s}$ .

Le altre misure, invece, sono state acquisite ad una temperatura ambiente leggermente inferiore:  $T_{\text{amb}}^{\text{c}} = (24.5 \pm 0.5) ^\circ\text{C}$ , da cui  $v_{\text{att}}^{\text{c}} = (346.4 \pm 0.3) \text{ m/s}$ .

Come è possibile osservare comparando questi risultati a quelli sopra riportati, tutti i valori di  $v$  ottenuti risultano compatibili con i rispettivi valori attesi.

## 2 Misura mediante l'eco

### 2.1 Esperienza e procedimento di misura

Ripetiamo quattro volte i seguenti passaggi:

1. Mediante il termometro ambientale, misuriamo la temperatura ambiente  $T_{\text{amb}}$  (in questo caso, abbiamo ottenuto, per tutte le misure,  $T_{\text{amb}} = (25.5 \pm 0.5) ^\circ\text{C}$ ).
2. Chiusa l'estremità del tubo opposta all'altoparlante tramite il pistone, misuriamo la lunghezza  $L$  della colonna d'aria all'interno del tubo.
3. Accesi l'oscilloscopio e il generatore di onde, impostiamo una forma d'onda quadra e una frequenza di  $(10 \pm 1) \text{ Hz}$ . Regoliamo poi l'ampiezza fino a percepire un suono.
4. Fissiamo il microfono appena sotto all'altoparlante, rivolto verso l'interno del tubo.
5. Misuriamo, grazie all'oscilloscopio, un intervallo di tempo  $\delta t$  immediatamente successivo all'emissione dell'onda, in modo tale che i segnali degli echi siano chiaramente distinguibili. Contiamo allora, in quell'intervallo di tempo, il numero di picchi  $N$  rilevati.

### 2.2 Analisi dei dati raccolti

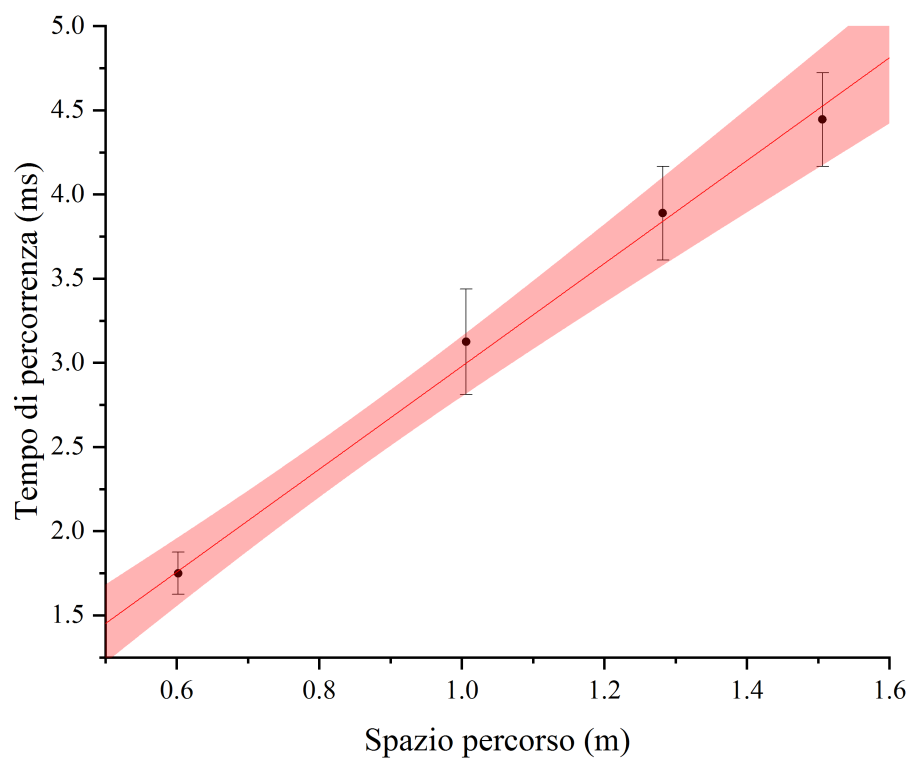
Sia  $L_0$  la distanza percorsa dall'onda e sia  $\Delta t_0$  il tempo impiegato. Allora, chiaramente,

$$L_0 = 2L, \quad \Delta t_0 = \frac{\Delta t}{N} \quad \text{e} \quad v = \frac{L_0}{\Delta t_0}.$$

È quindi possibile stimare  $v$  come il reciproco del coefficiente angolare  $\psi$  di una retta di regressione:

$$\Delta t_0 = \psi L_0 \quad \text{per cui} \quad v = \frac{1}{\psi}$$

Di seguito riportiamo i valori di  $L_0$  e  $\Delta t_0$  da noi ottenuti, accompagnati dai risultati della regressione lineare (pesata).



*In rosso la retta di regressione, in rosa la sua regione di incertezza. Le barre di errore sull'ascissa, per quanto riportate nel grafico, non sono di dimensioni apprezzabili.*

- Intercetta =  $(-0.75 \pm 2.63) \cdot 10^{-4} \text{ s}$
- Coefficiente angolare  $\psi = (3.05 \pm 0.29) \cdot 10^{-3} \text{ s/m}$

da cui:

$$v = (327 \pm 31) \text{ m/s}$$

## 2.3 Conclusioni

**Osservazione.** *L'intercetta di questa retta di regressione è risultata compatibile con 0, come ci si aspettava dalla relazione  $\delta t_0 = \psi L_0$ .*

Per valutare l'affidabilità della stima di  $v$  misurata, possiamo confrontarla con un valore atteso  $v_{\text{att}}$ , calcolato sulla base di  $T_{\text{amb}}$  come mostrato nella sezione precedente.

In questo caso,  $v_{\text{att}} = (347.0 \pm 0.3) \text{ m/s}$ : possiamo quindi affermare che la velocità del suono misurata è abbondantemente compatibile con il valore atteso.

Possiamo pertanto concludere che l'esperienza ha avuto successo: mediante l'apparato sperimentale il gruppo di lavoro ha ottenuto misure della velocità del suono compatibili con quelle attese.