

Onde sonore stazionarie in un tubo risonante

Scopo dell'esperimento

Determinare la velocità del suono analizzando le caratteristiche delle onde sonore stazionarie in un tubo risonante.

Richiamo teorico

In un tubo pieno d'aria le onde sonore incidenti generate ad un estremo del tubo da una sorgente (altoparlante) interferiscono con quelle riflesse all'altro estremo dando luogo ad onde stazionarie risultanti caratterizzate da punti in cui l'aria ha un'ampiezza di oscillazione massima (ventri o antinodi) e punti in cui l'ampiezza di oscillazione è nulla (nodi).

Le onde sonore stazionarie raggiungono un'ampiezza massima nelle condizioni di risonanza in cui c'è una ben precisa relazione tra la lunghezza della colonna d'aria (L) e la lunghezza d'onda (λ).

Per un tubo aperto ad entrambe le estremità la condizione di risonanza è:

$$L = n \frac{\lambda}{2} \quad (\text{con } n = 1, 2, 3, 4, \dots) \quad (1)$$

Nella figura seguente sono mostrati alcuni modi risonanti (le prime quattro armoniche) in un tubo aperto, caratterizzati dal fatto che alle estremità del tubo ci sono sempre degli antinodi (A) e che la lunghezza L è un multiplo della distanza tra due antinodi, uguale a mezza lunghezza d'onda ($\lambda/2$).

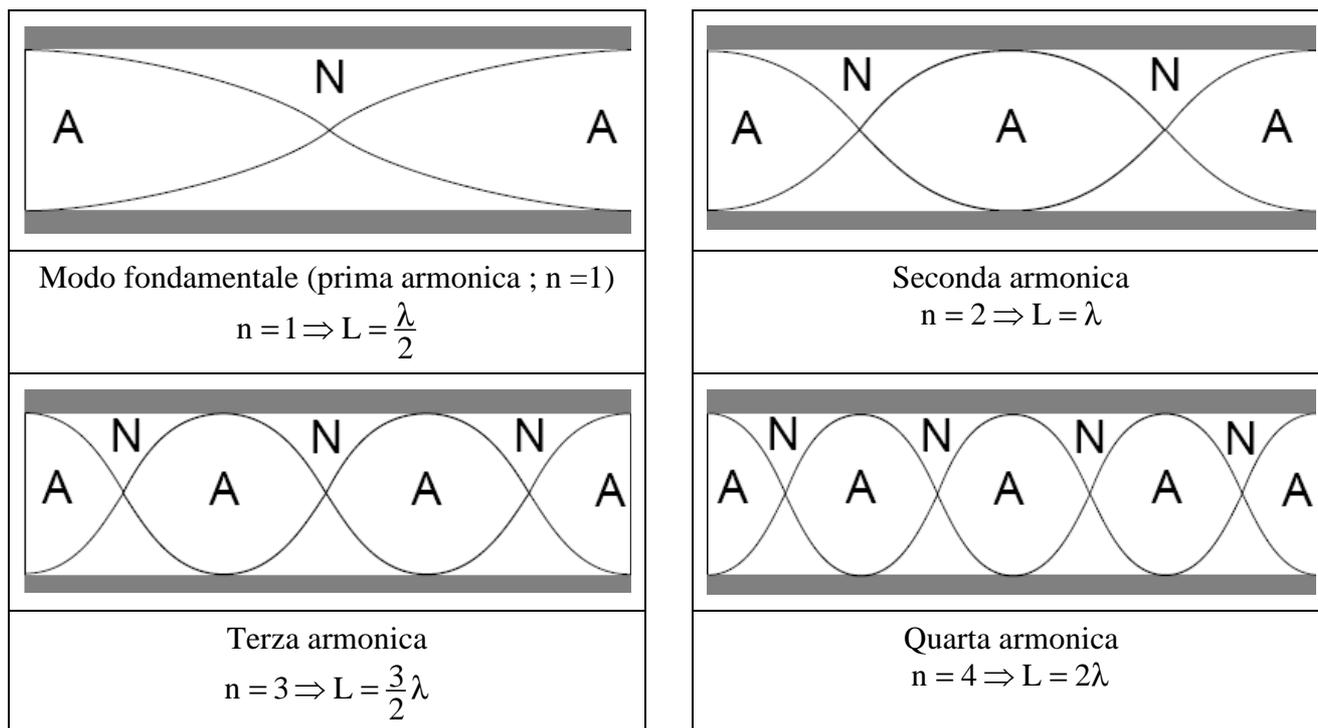


Fig. 1 Modi risonanti in un tubo aperto ad entrambe le estremità: sono mostrati gli antinodi (A) e i nodi (N)

Per un tubo chiuso ad un'estremità e aperto ad all'altra la condizione di risonanza è:

$$L = n \frac{\lambda}{4} \quad (\text{con } n = 1, 3, 5, 7, \dots) \quad (2)$$

Nella figura seguente sono mostrati alcuni modi risonanti (le prime quattro armoniche) in un tubo chiuso ad un'estremità e aperto all'altra, caratterizzati dal fatto che nell'estremo aperto c'è sempre un antinodo (A) e in quello chiuso c'è sempre un nodo (N). In questo caso la lunghezza L è un

multiplo dispari della distanza tra un antinodo e un nodo, uguale a un quarto di lunghezza d'onda ($\lambda/4$).

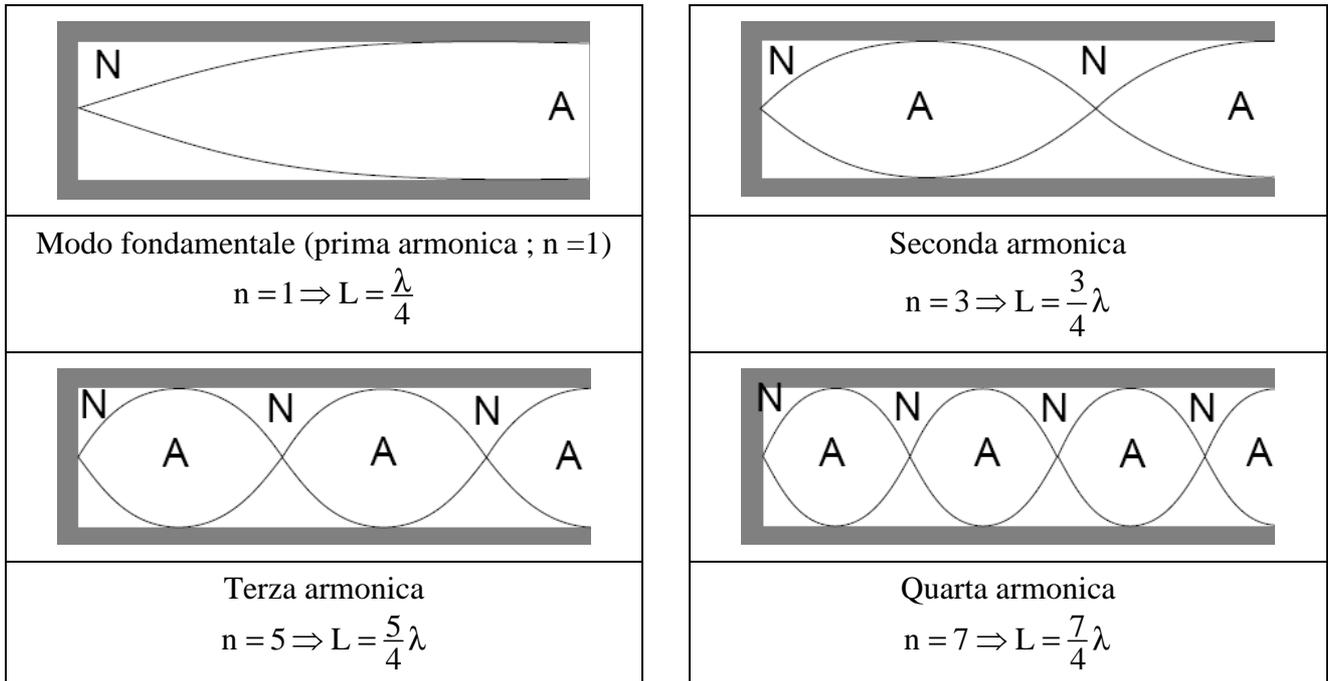


Fig. 2 Modi risonanti in un tubo chiuso ad un estremo e aperto all'altro

Bisogna precisare che le figure precedenti mostrano i modi risonanti rappresentando la variazione dello spostamento delle molecole d'aria lungo il tubo: gli antinodi (A) e i nodi (N) sono i punti in cui è rispettivamente massima o nulla l'ampiezza di oscillazione dell'aria.

Diversa è la rappresentazione in cui viene mostrata la variazione di pressione dell'aria lungo il tubo rispetto alla pressione atmosferica esterna (vedi fig. 3). All'estremità aperta del tubo, dove c'è un antinodo dello spostamento, c'è un nodo nella variazione della pressione dell'aria che assume lo stesso valore della pressione atmosferica esterna. All'estremità chiusa del tubo, dove c'è un nodo nello spostamento, c'è invece un antinodo nella variazione di pressione dell'aria che assume la massima compressione e rarefazione.

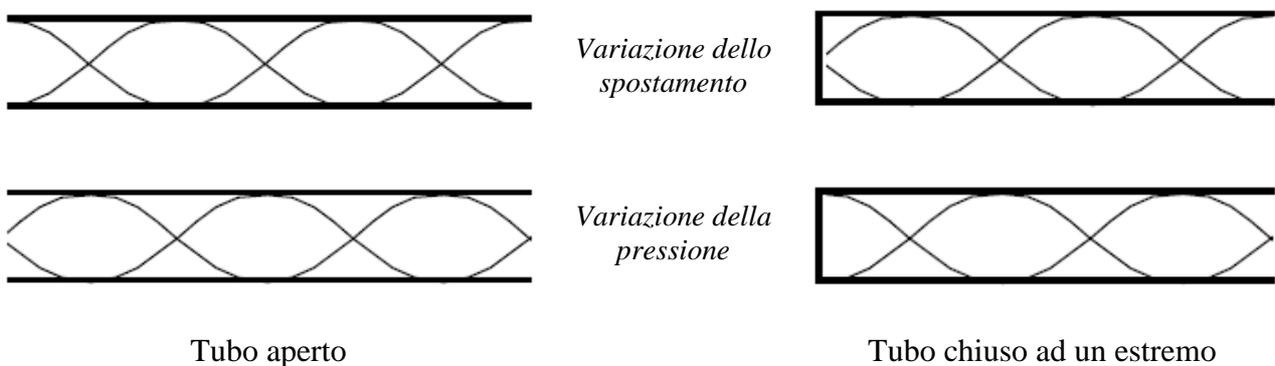


Fig. 3 Variazione dello spostamento e della pressione nelle onde stazionarie in un tubo risonante

La rappresentazione della pressione è importante perché è quella percepita dal microfono che rileva il suono come variazione di pressione rispetto a quella atmosferica.

Materiali e strumenti

- Tubo di plastica lungo 90 cm con scala millimetrata
- Pistone di plastica mobile per chiudere il tubo e variare la lunghezza della colonna d'aria
- Altoparlante fissato ad un estremo del tubo
- Microfono montabile su un'asta scorrevole
- Generatore di funzioni d'onda
- Oscilloscopio analogico
- Adattatori, cavi elettrici e coassiali per i collegamenti

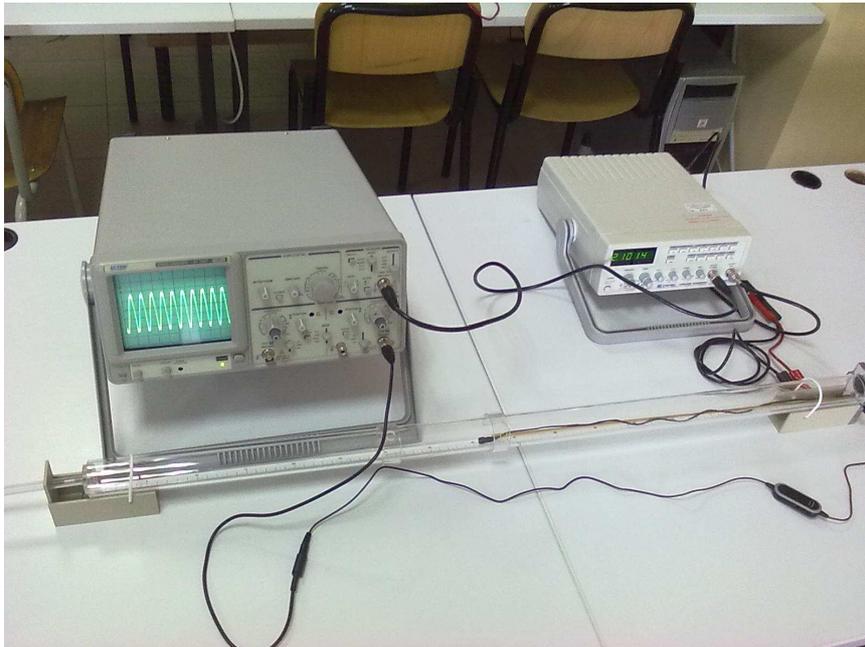


Fig. 4 Configurazione sperimentale

Esecuzione dell'esperimento e analisi dati (prima parte)

1. Onde stazionarie in un tubo risonante aperto

- L'esperimento deve essere eseguito in silenzio per non creare disturbi al segnale da misurare.
- Posizionare l'altoparlante alcuni centimetri all'esterno dell'estremo del tubo in cui c'è lo zero della scala millimetrata (in modo da poter considerare questo estremo aperto)
- Lasciare aperto anche l'altro estremo.
- Collegare mediante gli opportuni cavi e adattatori l'uscita *OUTPUT 50 Ω* del generatore di funzione con gli ingressi dell'altoparlante posti sul tubo.
- Collegare mediante il cavo coassiale il microfono all'ingresso CH1 dell'oscilloscopio.
- Inserire l'asta con il microfono dentro il tubo ed accendere il microfono (mettere il tasto su ON).
- Collegare mediante il cavo coassiale l'uscita *OUTPUT TTL/CMOS* del generatore di funzione all'ingresso dell'oscilloscopio *TRIG IN* impostando il tasto *SOURCE* su *EXT* (in questo modo si imposta un trigger esterno all'oscilloscopio che lo sincronizza con il generatore di funzione).
- Accendere l'oscilloscopio e regolare il livello del trigger (manopola *LEVEL*) in modo da visualizzare un segnale sinusoidale stabile.
- Accendere il generatore di funzione e selezionare un'onda sinusoidale con una frequenza di circa 1300 Hz; regolare l'intensità (tasto *AMPL*) in modo che il suono sia chiaramente udibile ma mantenga una forma d'onda perfettamente sinusoidale (per intensità troppo elevate il suono prodotto dall'altoparlante è distorto).

- Regolare la scala orizzontale (manopola *TIME/DIV*) e verticale (manopola *VOLTS/DIV*) in modo da visualizzare più onde complete nello schermo dell'oscilloscopio.
- Spostare il microfono fino ad ottenere un segnale sinusoidale di ampiezza massima sull'oscilloscopio (circa sulla posizione 10-15 cm della scala millimetrata).
- Aumentare lentamente la frequenza fino a trovare un massimo relativo nell'intensità del suono: questo indica un modo risonante nel tubo.
- Spostare il microfono lungo il tubo verificando la presenza degli antinodi (sull'oscilloscopio si vede un segnale sinusoidale di ampiezza massima) e dei nodi (sull'oscilloscopio si vede un segnale sinusoidale di ampiezza minima) di pressione dell'onda stazionaria.
- Mediante la scala millimetrata presente sul tubo annotare le posizioni x_1 , x_n del primo e dell' n -esimo antinodo con il relativo errore.
- Ripetere le due precedenti operazioni per altre quattro frequenze risonanti nell'intervallo [1300-3000 Hz].
- Sapendo che la distanza tra due antinodi consecutivi è uguale a metà lunghezza d'onda ($\lambda/2$), determinare per ogni frequenza il valore della lunghezza d'onda (λ) col relativo errore.
- Riportare in una tabella i valori di lunghezza d'onda, frequenza (f) e periodo ($T = 1/f$) con i relativi errori (assumere sulla frequenza un errore relativo strumentale del 5%).
- Aprire il programma Origin 8, costruire un grafico della lunghezza d'onda in funzione del periodo e fare un fit lineare per determinare la velocità (v) del suono dalla pendenza della retta ($\lambda = v \cdot T$).

Esecuzione dell'esperimento e analisi dati (seconda parte)

2. Modi risonanti in un tubo chiuso di lunghezza variabile

- Selezionare nel generatore di funzione un'onda sinusoidale di frequenza uguale a circa 1000 Hz; regolare l'intensità (tasto *AMPL*) in modo che il suono sia chiaramente udibile, ma mantenga una forma d'onda perfettamente sinusoidale (per intensità troppo elevate il suono prodotto dall'altoparlante è distorto)
- Sull'oscilloscopio regolare il livello del trigger (manopola *LEVEL*) in modo da visualizzare un segnale sinusoidale stabile.
- Regolare la scala orizzontale (manopola *TIME/DIV*) e verticale (manopola *VOLTS/DIV*) in modo da visualizzare più onde complete nello schermo dell'oscilloscopio.
- Inserire il pistone di plastica in fondo al tubo per chiudere l'estremo opposto all'altoparlante.
- Posizionare il microfono vicino all'altoparlante (a non più di 5 cm dall'estremo aperto del tubo), cercando la posizione dove il segnale sull'oscilloscopio è sinusoidale di ampiezza massima.
- Inserire lentamente il pistone dentro il tubo fino a trovare un modo risonante in cui si ha un massimo relativo nell'ampiezza del segnale sinusoidale (vedi fig. 5a). Attenzione a non considerare possibili segnali spuri di ampiezza elevata ma non sinusoidali (vedi fig. 5b).

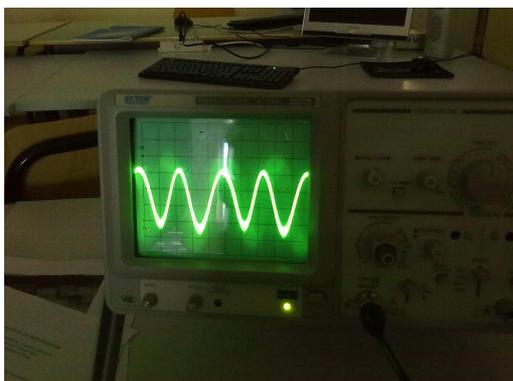


Fig. 5a Segnale sinusoidale

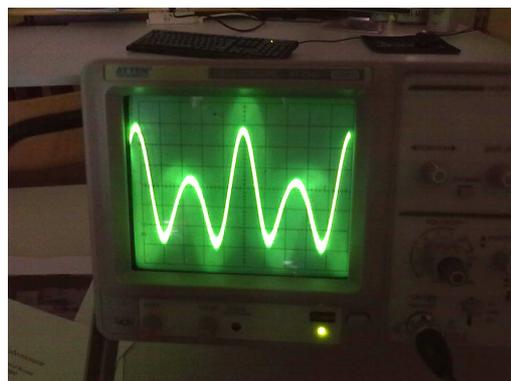


Fig. 5a Segnale non sinusoidale

- Mediante la scala millimetrata sul tubo misurare la lunghezza (L) della colonna d'aria contenuta tra l'estremo aperto del tubo e il pistone, con il relativo errore.
- Continuare a inserire lentamente il pistone fino a trovare i successivi massimi relativi nell'ampiezza del segnale sinusoidale e quindi i successivi modi risonanti; misurare ogni volta la lunghezza della colonna d'aria.
- Gli n valori di lunghezza misurati $L_n, L_{n-1}, \dots, L_3, L_1$ corrispondono alle diverse armoniche mostrate nella fig. 2 e sono quindi multipli dispari di $\lambda/4$ (equazione 2).
- La condizione di risonanza (equazione 2) va corretta per gli effetti di bordo (gli estremi del tubo non sono esattamente nodi e antinodi) nel modo seguente:

$$L + L_c = n \frac{\lambda}{4} \quad \text{con } n = 1, 3, 5, 7, 9, \dots \quad (3)$$

dove L_c è una lunghezza correttiva.

- La lunghezza d'onda λ è il rapporto tra la frequenza (f) e la velocità del suono (v): $\lambda = v / f$, quindi vale la relazione seguente:

$$L + L_c = \frac{v}{4f} n \quad \text{con } n = 1, 3, 5, 7, 9, \dots \quad (4)$$

- Aprire il programma Origin 8, costruire un grafico della lunghezza della colonna d'aria (L) in funzione del numero armonico (n) e fare un fit lineare per determinare la velocità del suono dalla pendenza della retta.

Conclusioni

Confrontare, entro gli errori di misura, il valore sperimentale della velocità del suono con quello teorico $v = 343$ m/s e discutere i risultati ottenuti.