

MISURA DELLE FREQUENZE DI RISONANZA DI UN TUBO SONORO

Scopo dell'esperienza è lo studio della propagazione delle onde sonore all'interno di un tubo, aperto o chiuso, contenete aria o altri gas. Si verificherà sperimentalmente l'instaurarsi di **onde stazionarie** che avviene solo per particolari valori della frequenza delle onde e si studierà la dipendenza di tale frequenza dalla lunghezza del tubo. Si misurerà infine la velocità di propagazione dell'onda sonora nei diversi gas.

INTRODUZIONE

Un'onda acustica prodotta dalle vibrazioni di una piccola membrana è un'onda elastica, longitudinale, sferica. Se consideriamo la sua propagazione all'interno di un tubo di sezione molto inferiore alla sua lunghezza possiamo considerare i fronti d'onda approssimativamente piani e trattare il problema come monodimensionale rispetto l'asse del tubo. La perturbazione del mezzo (aria o altro gas) può essere rappresentata come una **variazione di pressione** locale del gas. Nel caso di un'onda periodica di tipo armonico, progressiva, la variazione della pressione può essere descritta dalla funzione monodimensionale $\Delta p(x,t)$ dello spazio x e del tempo t

$$\Delta p(x,t) = A \text{ sen } (2\pi x/\lambda - 2\pi t/T)$$

con A ampiezza massima dell'onda, λ lunghezza d'onda e T periodo.

La propagazione dell'onda in un tubo di lunghezza L **aperto** ad entrambe le estremità è paragonabile a quella su una corda tesa fissata ad entrambi gli estremi. Infatti ai due estremi del tubo si hanno due nodi: la variazione di pressione prodotta dall'onda è minima, essendo l'aria in equilibrio con l'ambiente.

Pertanto nel tubo si stabiliscono **onde stazionarie** del tipo:

$$\Delta p(x,t) = A \text{ sen } (2\pi x/\lambda) \cos(2\pi \nu t)$$

quando è verificata la condizione:

$$L = n \lambda_n / 2 \quad n=1,2,3.. \quad (1)$$

La frequenza corrispondente è $\nu_n = \frac{v}{\lambda_n}$ e quindi:

$$\nu_n = n \frac{v}{2L} \quad n=1,2,3 \dots \quad (2)$$

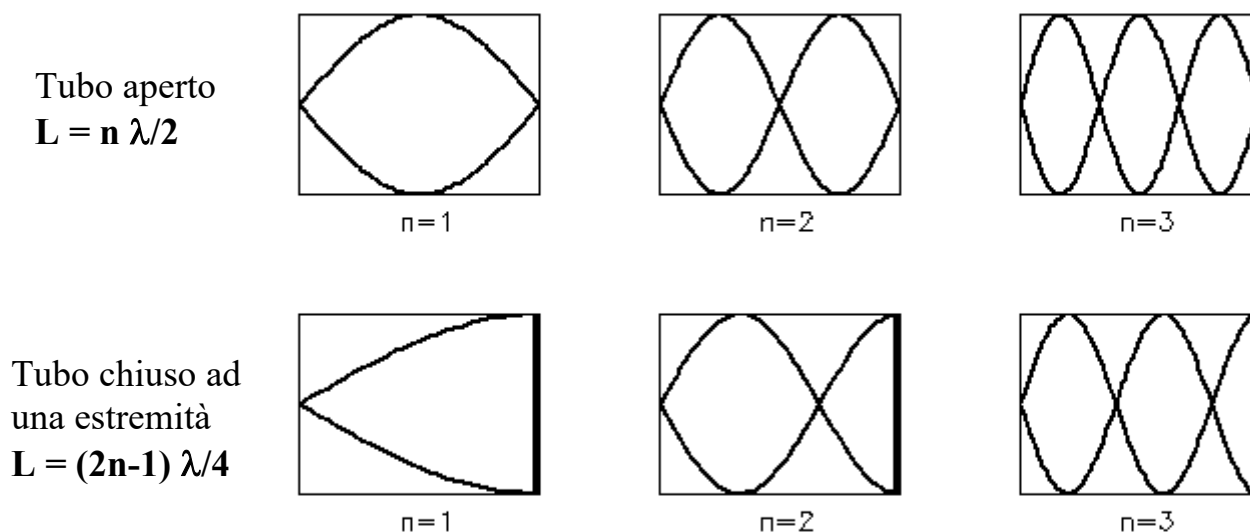
essendo v la velocità di propagazione delle onde acustiche nell'aria.

La frequenza corrispondente ad $n=1$, è detta frequenza fondamentale, quelle per $n>1$ sono le armoniche successive.

Se una delle estremità del tubo è chiusa, in questo punto la variazione di pressione è massima e si avrà quindi un ventre; perciò la condizione per l'instaurarsi di **onde stazionarie** in un tubo **chiuso ad una delle estremità** sarà diversa dalla precedente e risulta data da:

$$L = (2n-1)\lambda/4 \quad n=1,2,3 \dots \quad (3)$$

Nella figura è rappresentata la \square **variazione di pressione** $\Delta p(x,t)$, in funzione della **posizione lungo il tubo**, x , ad un istante t_0 per cui $\cos(\omega t_0)=1$ e ad un istante t_1 per cui $\cos(\omega t_1)=-1$, per le prime tre armoniche, nei casi di tubo aperto o chiuso, rispettivamente.



Se invece il tubo è **chiuso ad entrambe le estremità**, ad entrambe le estremità si avrà un ventre; perciò la condizione per l'instaurarsi di onde stazionarie sarà la \square stessa di quella indicata nella (1) per il tubo aperto. Tuttavia le posizioni di nodi e ventri sono ora scambiate tra loro.

SVOLGIMENTO DELL'ESPERIENZA

La misura si effettuano con una strumentazione costituita da:

- 1) un generatore di funzioni periodiche sinusoidali, di ampiezza e frequenza variabili
- 2) un altoparlante (speaker) con funzioni di “trasduttore”
- 3) un microfono, inserito all'interno del tubo, con amplificatore
- 4) un oscilloscopio per visualizzare il segnale rivelato dal microfono e quello inviato all'altoparlante.

Variando la frequenza del generatore delle onde è possibile determinare le condizioni di risonanza e verificare la validità delle due relazioni indicate sopra. La lunghezza efficace del tubo chiuso si può modificare muovendo un pistone in materiale plastico che lo chiude ad un estremo.

Il microfono funge da sensore delle variazioni di pressione. Spostando il microfono all'interno del tubo è possibile determinare la posizione dei nodi e dei ventri di pressione ricavando una misura della lunghezze d'onda.

Misure per il tubo aperto

Disporre il tubo sugli appositi supporti, lasciando alcuni centimetri di spazio fra il tubo e l'altoparlante all'estremità sinistra e aperta l'estremità destra. Collegare il generatore all'altoparlante e all'oscilloscopio per poter visualizzare il segnale inviato. Posizionare il microfono al centro del tubo e collegarlo ad un altro canale dell'oscilloscopio.

Impostare sul generatore una frequenza intorno ai 200 Hz e un'ampiezza iniziale piccola. Aumentare gradualmente l'ampiezza sino a percepire un suono dall'altoparlante (tutto ciò al fine di non danneggiarlo inviandogli una potenza eccessiva).

Accendere l'oscilloscopio e l'amplificatore del microfono.

Variare lentamente le frequenze del generatore e utilizzando l'oscilloscopio individuare la frequenza per la quale il segnale è massimo.

Avendo determinato una delle **frequenze di risonanza**, variare la frequenza in modo da determinare quelle successive (inferiori e superiori). Ci si aspetta di trovare valori di frequenza che stanno loro come multipli interi.

Scelta una frequenza di risonanza con $n > 1$ spostare lentamente il microfono dentro il tubo e individuare le posizioni dei nodi e dei ventri e verificare che corrispondano a quanto previsto dalla (2).

La precisione con cui si può determinare la frequenza corrispondente ad un massimo (o un minimo) non dipende dalla precisione con cui essa è definita dal generatore, ma dalla determinazione della condizione di massimo (o minimo) fatta sull'oscilloscopio. Valutare sperimentalmente qual'è la minima variazione della frequenza corrispondente ad una variazione di ampiezza apprezzabile sull'oscilloscopio ed utilizzarla per definire l'incertezza sulle misure fatte.

Costruire un grafico che rappresenti la frequenza ν delle onde stazionarie in funzione del numero n e verificare la **validità dell'eq.(2)**. Interpolare i dati e ricavare i parametri della retta da cui, misurato il valore di L (e applicata ad esso la correzione indicata nella Nota) ricavare il valore della **velocità** di propagazione delle onde sonore.

Confrontare il valore della velocità del suono determinato dalle onde stazionarie con quanto **previsto** dalla relazione:

$$\nu = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}} \quad (4)$$

dove $\gamma = C_p/C_v$, R è la costante dei gas, M la massa molare e T la temperatura in gradi Kelvin.

Misure per il tubo chiuso ad una estremità

Le misure precedenti possono essere ripetute dopo aver chiuso una estremità del tubo. In questo caso vale l'equazione (3). Si varia la frequenza alla ricerca di quella in corrispondenza della quale si osservano le onde stazionarie. Si costruisce un grafico ponendo in ordinate le frequenze delle onde stazionarie e in ascisse i valori corrispondenti di $(2n-1)$. Si interpola con una retta e si ricava dai parametri della retta la velocità di propagazione delle onde. Confrontarla con quella determinata per il tubo aperto.

Ripetendo le misure per diversi valori di lunghezza del tubo (la lunghezza può essere variata a piacere muovendo il pistone) si può verificare nell'equazione (3) la **dipendenza della frequenza delle onde stazionarie dalla lunghezza del tubo** .

NOTA

Nel caso di un tubo reale le formule indicate per le risonanze sono approssimate in quanto la posizione esatta dei nodi ed antinodi agli estremi aperti del tubo dipende anche dal diametro D del tubo. Empiricamente è stata determinata una correzione da apportare alla lunghezza L del tubo pari a $0.4 D$, per ogni estremità aperta del tubo. In pratica più il tubo è largo e più il nodo “fuoriesce” dal tubo. Le formule diventano quindi:

tubo aperto	$L + 0.8 D = n \lambda / 2$	con $n = 1, 2, 3, \dots$
tubo chiuso	$L + 0.4 D = (2n-1) \lambda / 4$	con $n = 1, 2, 3, \dots$

Acquisizione di segnale acustico noto e caratterizzazione

Installare la app 'phyphox' su un cellulare. Con questa app è possibile generare suoni di data frequenza, a singolo e multiplo tono.

Si scelga se operare in condizioni di tubo aperto o chiuso.

Si ponga l'uscita dell'altoparlante del telefono cellulare di fronte al tubo, davanti lo speaker (non alimentato). Ci si sinceri che il microfono sia posto alla stessa distanza dal telefono, rispetto alla distanza che aveva rispetto allo speaker nella misura iniziale.

Dalla app 'phyphox' sul cellulare, generare un segnale di singolo tono a diverse frequenze ('La' 440Hz, 'Do' 264 Hz), e un segnale di doppio tono (frequenze vicine/lontane, differenti rapporti di ampiezza). Cercare di scegliere frequenze vicine alla prima armonica o alla successive, rispetto al tubo di risonanza. Rilevare con il microfono i differenti segnali, e campionarli sull'oscilloscopio osservandoli nel dominio del tempo e in quello della frequenza (FFT). Salvare le waveforms e le rispettive FFT.

Ripetere la stessa misura rimuovendo il tubo di risonanza e ponendo solo il microfono davanti all'altoparlante del cellulare.

Osservare inoltre se/come cambia l'intensità di segnale di singolo tono allontanando/avvicinando il microfono dall'altoparlante (campionare una differenza di distanza di almeno 50cm)

Acquisizione di segnale acustico generico

Eseguire la misura senza tubo di risonanza.

Posizionare l'altoparlante di un cellulare ad una data distanza dal microfono.

Avvicinare al microfono anche un cellulare con la app 'phyphox' aperta, in condizione di registrazione del suono.

Osservare e acquisire dall'oscilloscopio (e con il cellulare):

- una misura di 'rumore acustico ambientale' (team in silenzio)
- una misura di 'rumore antropico ambientale' (team che parla lontano dal banco)
- una misura di una traccia musicale a scelta

Confrontare il contenuto in frequenza e l'intensità (in media e nel tempo) nei tre casi.

Produrre spettrogrammi e spettri di potenza.

Confrontare i grafici ottenuti dall'analisi dei dati campionati con l'oscilloscopio con quelli generati dalla app 'phyphox'.