

RELAZIONE ESPERIENZA DI LABORATORIO SU FENOMENI DI INTERFERENZA

Introduzione

L'obiettivo di questo esperimento è l'osservazione dei fenomeni di interferenza costruttiva e distruttiva causati dalla sovrapposizione di due onde sonore aventi la stessa frequenza.

Materiali e strumenti

Materiali

- Altoparlanti (auricolari, precisione 1Hz)¹

Strumenti

Tabella 1: Strumenti utilizzati

Strumento	Sensibilità
Carta a quadretti	4mm
Videocamera ²	16.7ms
Registratore ^{2 3}	44100s^{-1}

¹Ci si aspetta che lo strumento emetta una frequenza che non differisca di più di 1Hz da quella impostata.

²I due strumenti sono parte dello stesso dispositivo e possono quindi registrare dati tra loro sincronizzati.

³Sensibilità espressa in campionamenti al secondo.

Descrizione dell'esperimento

L'esperimento può essere suddiviso in due fasi: Nella prima fase si posizionano due auricolari emettenti un'onda sonora in fase e a una data frequenza su un foglio a quadretti. Ad una distanza di $8.4cm$ dalle cuffiette si posiziona il microfono collegato al videoregistratore e quindi sincronizzato con esso. Dopo aver iniziato una videoregistrazione che inquadri il microfono, gli auricolari e il foglio quadrettato si sposta un auricolare nella direzione opposta al microfono. Le interferenze si otterranno nelle due situazioni rappresentate nella Figura 1⁴. Si ripete il procedimento partendo da una frequenza di $6500Hz$ e incrementando quest'ultima di $500Hz$ per ogni nuova misurazione fino ad arrivare a $10000Hz$.

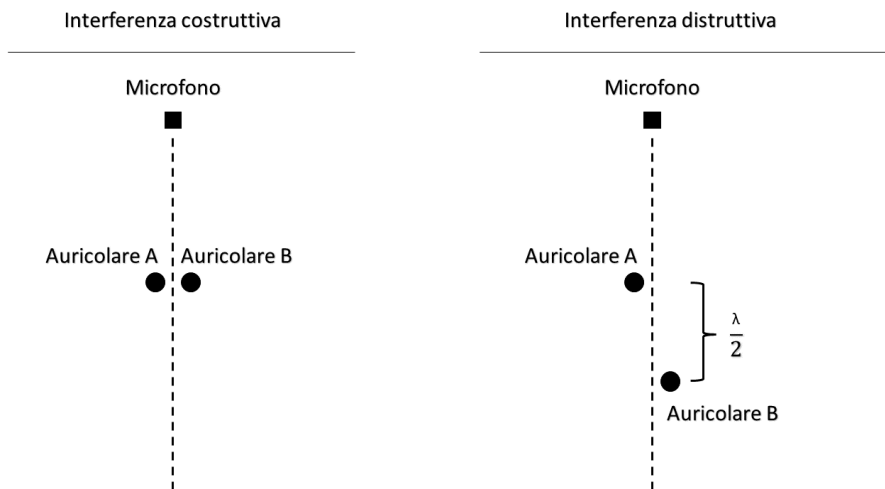


Figura 1: rappresentazione delle interferenze nella prima fase dell'esperimento

Nella seconda fase i due auricolari si posizionano a una distanza di $d = 6.8cm$ tra loro e si fa scorrere il microfono su una retta parallela al segmento che unisce gli auricolari ad una distanza $D = 14.2cm$ da esso come mostrato nella figura 2. Come nella fase 1 il microfono è collegato al videoregistratore che filmerà l'esperimento. Si ripete il procedimento aumentando la distanza tra microfono e auricolari di $2cm$ ad ogni nuova misurazione.

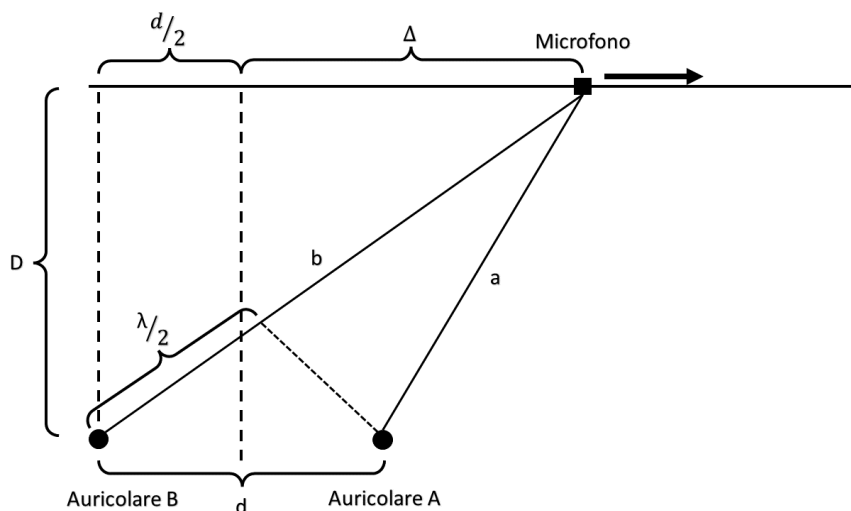


Figura 2: rappresentazione dell'interferenza distruttiva nella seconda fase dell'esperimento

⁴L'interferenza costruttiva si ottiene nella situazione rappresentata sulla sinistra solo se i due auricolari emettono onde in fase.

Dati

Fase 1

Tabella 2: Dati relativi alla prima fase dell'esperimento⁵.

#	$f(Hz)$
1	6500 ± 1
2	7000 ± 1
3	7500 ± 1
4	8000 ± 1
5	8500 ± 1
6	9000 ± 1
7	9500 ± 1
8	10000 ± 1

Fase 2

Le sorgenti sonore si trovano a una distanza $d = 0.068 \pm 0.004m$ tra loro e viene emessa una frequenza $f = 5000 \pm 1Hz$

Tabella 3: Dati relativi alla seconda fase dell'esperimento⁵.

#	$D(m)$
1	0.142 ± 0.004
2	0.162 ± 0.004
3	0.182 ± 0.004
4	0.202 ± 0.004
5	0.222 ± 0.004
6	0.242 ± 0.004
7	0.262 ± 0.004
8	0.282 ± 0.004

Elaborazione matematica

Per riuscire ad analizzare le registrazioni audio che presentavano del rumore causato dalle altre sorgenti acustiche presenti al momento della misurazione, si applica un filtro passa banda con frequenze di taglio vicine alla frequenza emessa dalla sorgente, ovvero $5000Hz$. Come viene rappresentato nei Grafici 1 e 2 il segnale analizzato nel dominio della frequenza cambia drasticamente dopo l'applicazione del filtro. Dopo questo processo si può più facilmente individuare un minimo nell'intensità del segnale che corrisponderà al punto in cui avviene l'interferenza distruttiva, come si può vedere nel grafico 3.

⁵Parte dei dati riguardanti seconda fase dell'esperimento è presente nella sezione "Elaborazione matematica" per via del procedimento che è stato necessario per ricavarla.

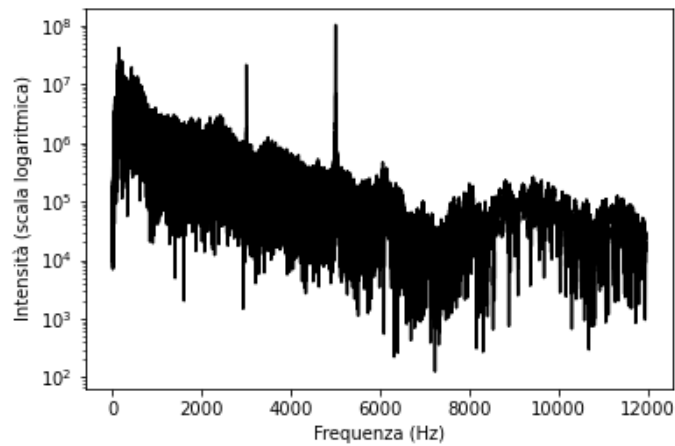


Grafico 1: Rappresentazione spettrale del segnale non filtrato

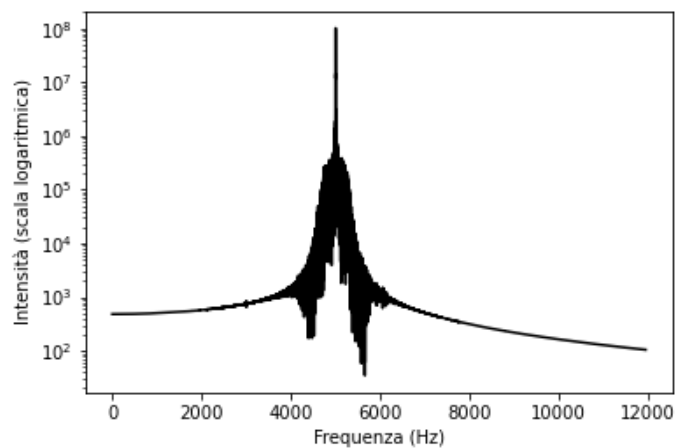
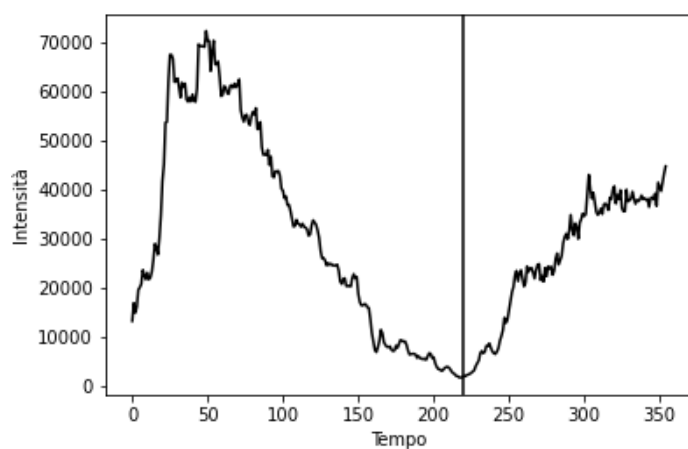
Grafico 2: Rappresentazione spettrale del segnale filtrato (con frequenze di taglio pari a 4750Hz e 5250Hz)

Grafico 3: Grafico intensità-tempo del segnale filtrato

Fase 1

Utilizzando il procedimento precedentemente esposto si ottengono i seguenti valori di d cioè la distanza tra le due sorgenti nel momento in cui l'interferenza è puramente distruttiva.

Tabella 4: Frequenza f e distanza d per la prima fase dell'esperimento.

#	$f(Hz)$	$d(m)$
1	6500 ± 1	0.032 ± 0.004
2	7000 ± 1	0.028 ± 0.004
3	7500 ± 1	0.028 ± 0.004
4	8000 ± 1	0.028 ± 0.004
5	8500 ± 1	0.024 ± 0.004
6	9000 ± 1	0.024 ± 0.004
7	9500 ± 1	0.024 ± 0.004
8	10000 ± 1	0.020 ± 0.004

Poiché l'onda si propaga alla velocità del suono c si ha:

$$\lambda f = c \quad [1.1]$$

che, se si è interessati ad ottenere c tramite regressione lineare, può essere riscritta come:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad [1.2]$$

Per avere un'interferenza distruttiva, assumendo che le sorgenti siano in fase, l'osservatore dovrà trovarsi in una posizione tale che la differenza tra le distanze tra lui e le delle sorgenti equivalga a $\lambda/2$. In particolare assumendo che le due sorgenti e l'osservatore si trovino posizionati lungo una linea retta e assumendo che l'osservatore non si trovi tra le sorgenti il primo minimo si avrà quando $d = \lambda/2$, in cui d rappresenta la distanza tra le due sorgenti. Sostituendo λ con $2d$ (per le ragioni specificate in precedenza) si avrà:

$$2d = c \frac{1}{f} \quad [1.3]$$

che si trova nella stessa forma di $Y = cX$ e da cui si può quindi calcolare c tramite regressione lineare.

Tabella 5: Coordinate dei punti usati per calcolare la retta di regressione (Fase 1)

#	$1/f(s)$	$2d(m)$
1	$1.53846 \cdot 10^{-4} \pm 2 \cdot 10^{-8}$	0.064 ± 0.004
2	$1.42857 \cdot 10^{-4} \pm 2 \cdot 10^{-8}$	0.056 ± 0.004
3	$1.33333 \cdot 10^{-4} \pm 1 \cdot 10^{-8}$	0.056 ± 0.004
4	$1.25000 \cdot 10^{-4} \pm 1 \cdot 10^{-8}$	0.056 ± 0.004
5	$1.17647 \cdot 10^{-4} \pm 1 \cdot 10^{-8}$	0.048 ± 0.004
6	$1.11111 \cdot 10^{-4} \pm 1 \cdot 10^{-8}$	0.048 ± 0.004
7	$1.05263 \cdot 10^{-4} \pm 1 \cdot 10^{-8}$	0.048 ± 0.004
8	$1.00000 \cdot 10^{-4} \pm 1 \cdot 10^{-8}$	0.040 ± 0.004

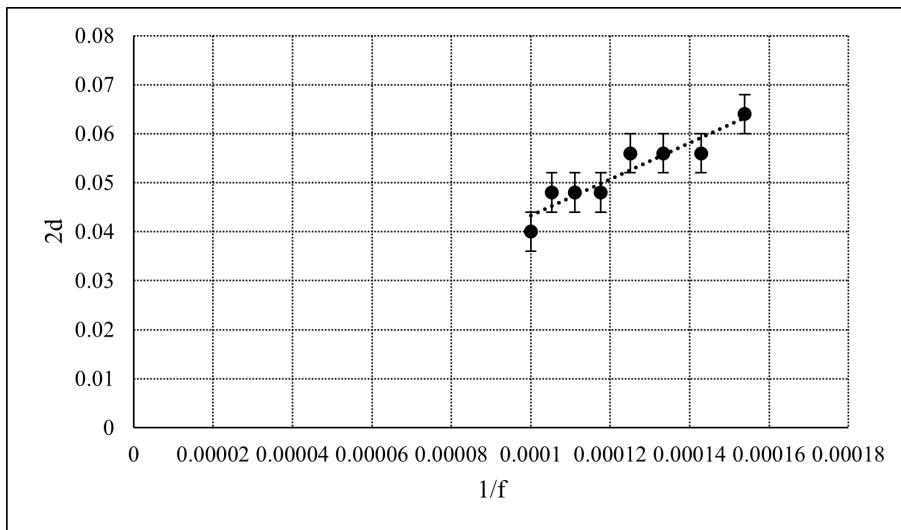


Grafico 4: rappresentazione dei dati presenti nella tabella 5 con retta di regressione

Individuando la retta di regressione, rappresentata nel grafico 4 si ottiene $c = 370 \pm 50 \text{ m/s}$.

Fase 2

Utilizzando il medesimo procedimento si elaborano di dati della distanza Δ .

Tabella 6: Distanze D e Δ come raffigurate nella figura 2

#	$D(m)$	$\Delta(m)$
1	0.142 ± 0.004	0.100 ± 0.004
2	0.162 ± 0.004	0.088 ± 0.004
3	0.182 ± 0.004	0.120 ± 0.004
4	0.202 ± 0.004	0.132 ± 0.004
5	0.222 ± 0.004	0.124 ± 0.004
6	0.242 ± 0.004	0.156 ± 0.004
7	0.262 ± 0.004	0.164 ± 0.004
8	0.282 ± 0.004	0.152 ± 0.004

Per avere un'interferenza distruttiva la differenza tra le distanze tra il microfono e le fonti sonore dovrà essere di $\lambda/2$, si avrà quindi:

$$\sqrt{D^2 + \left(\Delta + \frac{d}{2}\right)^2} - \sqrt{D^2 + \left(\Delta - \frac{d}{2}\right)^2} = \frac{\lambda}{2} \quad [2.1]$$

che, tenendo in considerazione che $\sqrt{A} - \sqrt{B} = \frac{A-B}{\sqrt{A}+\sqrt{B}}$, può essere riscritta come:

$$\frac{D^2 + \left(\Delta + \frac{d}{2}\right)^2 - D^2 + \left(\Delta - \frac{d}{2}\right)^2}{\sqrt{D^2 + \left(\Delta + \frac{d}{2}\right)^2} + \sqrt{D^2 + \left(\Delta - \frac{d}{2}\right)^2}} = \frac{\lambda}{2} \quad [2.2]$$

che espandendo e poi risemplificando si può riscrivere come:

$$\frac{2d\Delta}{\sqrt{D^2 + \left(\Delta + \frac{d}{2}\right)^2} + \sqrt{D^2 + \left(\Delta - \frac{d}{2}\right)^2}} = \frac{\lambda}{2} \quad [2.3]$$

a sua volta riscrivibile come:

$$\left(\sqrt{D^2 + \left(\Delta + \frac{d}{2}\right)^2} + \sqrt{D^2 + \left(\Delta - \frac{d}{2}\right)^2} \right) \lambda = 4d\Delta \quad [2.4]$$

che si trova nella stessa forma di $Y = \lambda X$ e dalla quale può quindi essere ricavata λ tramite regressione lineare.

Tabella 7: Coordinate dei punti usati per calcolare la retta di regressione (Fase 2)

#	$X(m)^6$	$4d\Delta(m)$
1	0.142 ± 0.004	0.100 ± 0.004
2	0.162 ± 0.004	0.088 ± 0.004
3	0.182 ± 0.004	0.120 ± 0.004
4	0.202 ± 0.004	0.132 ± 0.004
5	0.222 ± 0.004	0.124 ± 0.004
6	0.242 ± 0.004	0.156 ± 0.004
7	0.262 ± 0.004	0.164 ± 0.004
8	0.282 ± 0.004	0.152 ± 0.004

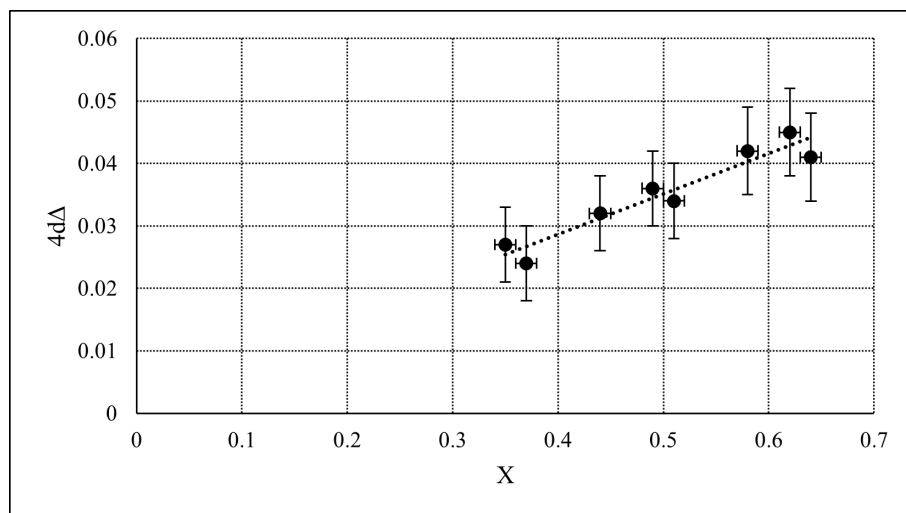


Grafico 5: rappresentazione dei dati presenti nella tabella 7 con retta di regressione

Individuando la retta di regressione, rappresentata nel grafico 5 si ottiene $\lambda = 0.064 \pm 0.008m$.

Conclusioni

Dopo l'elaborazione dei dati relativi alla prima fase dell'esperimento si ottiene una velocità dell'onda pari a $370 \pm 50m/s$; poiché si tratta di un'onda acustica la velocità di propagazione è uguale alla velocità del suono ($344m/s$) che infatti è coerente con il valore ottenuto. Analizzando invece i dati relativi alla seconda fase dell'esperimento si ottiene una lunghezza d'onda pari a $0.064 \pm 0.008m$; confrontando questo dato con quello calcolato tramite la formula [1.2] $0.0688m$ notiamo che il valore teorico è coerente con quello ottenuto tramite l'elaborazione dei dati sperimentali.

⁶per comodità verrà d'ora innanzi denominata così la quantità pari a $\sqrt{D^2 + \left(\Delta + \frac{d}{2}\right)^2} + \sqrt{D^2 + \left(\Delta - \frac{d}{2}\right)^2}$.