

EFFETTO DOPPLER

OBIETTIVO: Verificare che le frequenze generate dal carrellino misurate da fermo e in movimento coincidano con quelle teoriche calcolate.

Strumentazione e set-up:

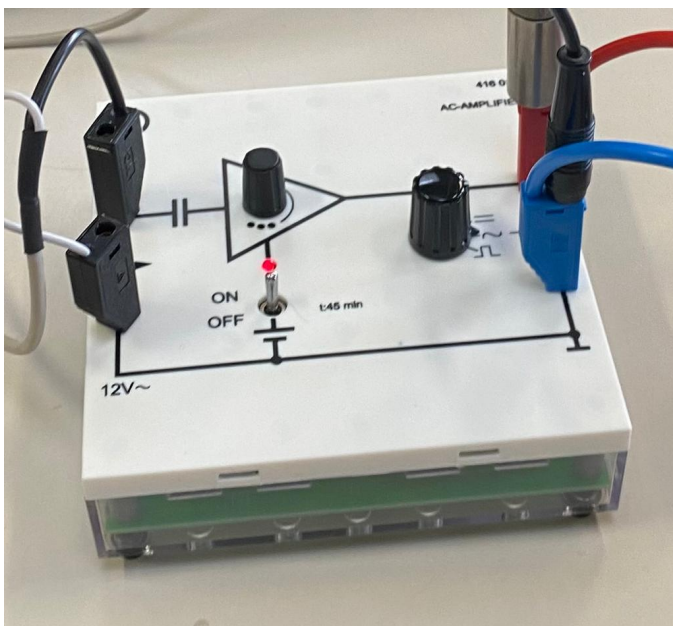
Carrellino: Carrellino con motore elettrico dotato di pulsante di accensione e spegnimento. L'accensione prevede due tipi di movimento, ovvero un movimento frontale e uno in retromarcia. Il carrellino presenta inoltre un cilindretto in grado di roteare attorno al suo asse verticale per aumentare o diminuire la sua velocità. La fonte di energia dello strumento sono due pile. Il carrellino ha una velocità minima di 20 cm/s e una massima di 60 cm/s. E' dotato di un amplificatore attaccato al di sopra della scocca e genererà un ultrasuono. Il carrellino è libero di muoversi su un binario rettilineo a velocità impostata e lasciata costante prima delle misurazioni.



Generatore: Il generatore genera un segnale di 40 kHz ed ha una massa di 220 grammi. É dotato di un tasto di accensione e spegnimento, un pulsante per mandare una frequenza pulsata o continua, fori per inviare dati di output e un compartimento per le batterie.



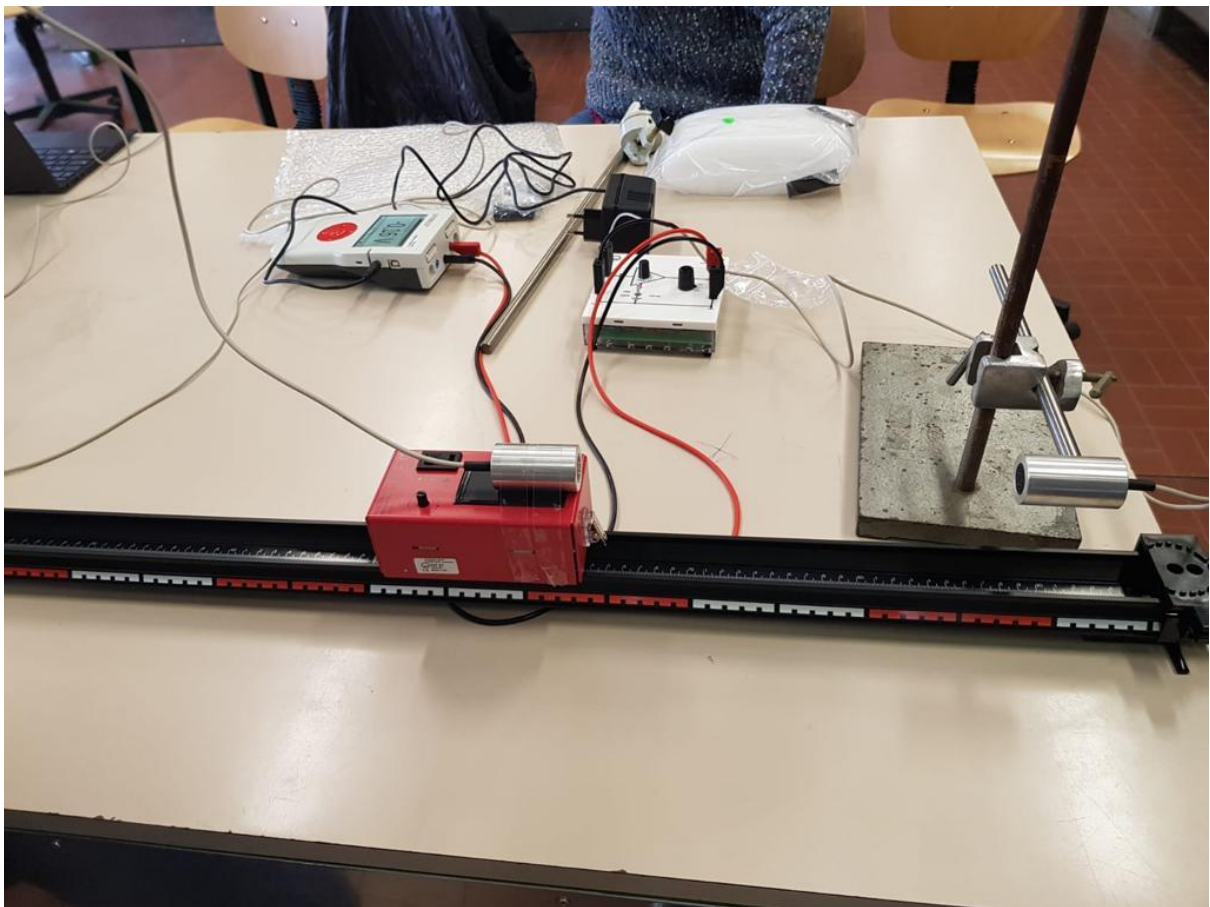
AC Amplifier: Microfono per rilevare i suoni prodotti dal generatore descritto precedentemente. Presenta un bottone di accensione e spegnimento e un regolatore del guadagno audio.



Mobile CASSY 2: Strumento in grado di misurare il voltaggio, temperatura e potenza della corrente. È dotato di un display, di una rotella touch e di sistemi di input ed output.



Il risultato di tutto il set-up è il seguente:



Cenni teorici:

Un'onda è una perturbazione che si propaga nello spazio, trasportando energia e quantità di moto ma non materia. In ogni tipo di onda il grafico di y , grandezza che varia con il tempo t , in funzione di x , posizione, è chiamato profilo dell'onda, disegnato per un istante fissato t .

Esistono vari tipi di onde:

- Onde trasversali in cui la direzione dell'oscillazione è perpendicolare alla direzione in cui si propaga l'onda
- Onde longitudinali in cui la direzione dell'oscillazione è la stessa direzione in cui si propaga l'onda
- Onde meccaniche, che necessitano di un mezzo materiale in cui propagarsi
- Onde elettromagnetiche, sono formate dalla propagazione simultanea di un campo elettrico e di un campo magnetico tra loro perpendicolari

Le onde possono essere:

- Non periodiche, se la sorgente oscilla in modo casuale nel tempo
- Periodiche, se la sorgente oscilla di moto periodico nel tempo
- Armoniche, se la sorgente si muove di moto armonico

Tutte le onde armoniche sono periodiche ma non vale il viceversa.

Le onde periodiche sono caratterizzate da:

Periodo T , frequenza f , lunghezza d'onda λ , velocità di propagazione v e l'ampiezza A .

Il periodo T di un'onda è la completa durata di oscillazione di y al variare di t .

La frequenza f è il numero di oscillazioni che l'onda compie fissato un punto nell'unità di tempo t , ovvero 1s.

La velocità di propagazione v è la grandezza che misura la velocità alla quale la perturbazione dell'onda si propaga lungo il suo spostamento.

Essa è pari al rapporto tra la lunghezza d'onda e il periodo o anche al prodotto della lunghezza d'onda per la frequenza.

$$v = \lambda/T \text{ oppure } v = \lambda f$$

Il suono

Il suono è un'onda longitudinale prodotta dall'alternarsi di compressioni e rarefazioni del mezzo in cui si propaga. E' un fenomeno fisico prodotto dalla vibrazione di un corpo in oscillazione. La vibrazione di un corpo produce la variazione di pressione

dell'aria che si propaga fino al nostro orecchio attraverso le onde. Durante il movimento oscillatorio vengono formate onde sonore sferiche e concentriche. Il fronte d'onda è l'insieme di punti in cui le grandezze che variano al passaggio dell'onda hanno lo stesso valore ogni istante.

La velocità del suono varia al variare delle caratteristiche del mezzo attraverso il quale si propaga. Nei solidi si ha velocità maggiore mentre nei gas si avrà velocità minore. Questo avviene perché le molecole nei solidi sono più vicine rispetto che nei gas.

Il suono viene rappresentato attraverso un grafico sinusoidale.

Il suono percepibile dall'uomo ha una frequenza compresa tra i 20 e i 20000 Hz, mentre vengono chiamati ultrasuoni i suoni che hanno una frequenza superiore ai 20000 Hz e infrasuoni i suoni che hanno una frequenza inferiore ai 20 Hz.

Nel nostro caso andremo ad utilizzare gli ultrasuoni.

L'effetto Doppler

L'effetto Doppler descrive il cambiamento di frequenza di un'onda, a seconda dello stato di moto relativo tra emettitore e/o ricevente. Fu analizzato per la prima volta da Christian Andreas Doppler nel 1845, il quale capì che tale effetto poteva verificarsi solo su onde sonore e elettromagnetiche.

Per poter analizzare il fenomeno si possono distinguere tre casi:

1. Sorgente ferma e ricevitore in movimento
2. Sorgente in movimento e ricevitore fermo
3. Sorgente in movimento e ricevitore fermo

1: SORGENTE FERMA E RICEVITORE IN MOVIMENTO

Scegliamo il sistema di riferimento in cui l'aria (mezzo in cui si propagano le onde) è in quiete e che una sorgente ferma rispetto all'aria emetta un'onda sonora di frequenza f e chiamiamo v la velocità del suono.

-Un ricevitore fermo rispetto alla sorgente riceve le onde a intervalli di tempo $T=1/f$

-un ricevitore si muove verso la sorgente riceverà le onde a intervalli di tempo minori ($T_1 < T$) cioè avremo una frequenza $f_1 > f$, mentre se si allontana f_1 sarà minore di f .

$$f' = \frac{v \pm vr}{v} f$$

2: SORGENTE IN MOVIMENTO E RICEVITORE FERMO

Se la sorgente è in movimento rispetto all'aria, i fronti di compressione dell'onda sonora sono delle sfere con il centro che si sposta. La velocità con cui si espandono le sfere è la velocità del suono v e la velocità con cui si muove il loro centro è quella della sorgente.

Se la sorgente si avvicina al ricevitore, la frequenza f_1 sarà maggiore di f , pertanto si avrà un suono più acuto, mentre se la sorgente si allontana f_1 sarà minore di f , quindi si percepirà un suono più grave.

$$f' = \frac{v}{v \pm v_s} f$$

3: SORGENTE E RICEVITORE ENTRAMBI IN MOVIMENTO

Per ottenere la formula di questo caso dovremmo unire le due precedenti, da cui otteniamo che:

$$f' = \frac{v \pm v_r}{v \pm v_s} f$$

Nel nostro esperimento andremo ad analizzare il caso n.2, ovvero quello della sorgente in movimento e il ricevitore fermo. La sorgente sarà rappresentata dal carrellino, sul quale vi è appunto un generatore di ultrasuoni, mentre il ricevitore sarà posto alla fine del binario e capterà le frequenze emesse.

PROCEDIMENTO:

Montare la strumentazione seguendo le istruzioni sul manuale leybold. Calcolare la velocità del carrellino misurando il tempo con un cronometro digitale.

Prima parte: il carrellino si avvicina al ricevitore

Per prima cosa rendere operativa la strumentazione accendendo tramite gli interruttori il frequenzimetro, l'amplificatore e il generatore.

Avvicinare il carrellino dotato di amplificatore al ricevitore, attaccato all'asta verticale, e farli combaciare perfettamente. Quest'operazione eviterà che le misurazioni risultino errate.

Successivamente posizionare il carrellino sulla rotaia, distante dal ricevitore.

Leggere il numero presente sul frequenzimetro, che sarà la frequenza iniziale.

Successivamente attivare l'interruttore sul carrellino in modo da farlo procedere in avanti avvicinandosi al ricevitore.

Leggere infine la frequenza massima rilevata dal frequenzimetro e riportare tutti i dati in tabella.

Ripetere le misurazioni.

Seconda parte: il carrellino si allontana dal ricevitore

Ripetere le stesse operazioni iniziali della prima parte dell'esperimento, questo perché l'amplificatore del carrellino potrebbe essersi disallineato dal ricevitore attaccato all'asta verticale.

Leggere la frequenza iniziale sul frequenzimetro e attivare il motore del carrellino mediante l'interruttore.

Una volta che il carrellino si allontana dal ricevitore leggere e riportare in tabella la frequenza minima che si legge sul frequenzimetro.

Ripetere le misurazioni.

Raccolta ed elaborazione dati:

n	t(s)	tm(s)	v(m/s)	f emessa (kHz)	f teorica (kHz)	f sperimentale (kHz)	Er%
1	3.47	3.39	0.295	40.193	40.228	40.235	0.02
	3.14						
	3.55						

$$t_m = (t + t_1 + t_2) / 3 \quad t_m = (3.47 + 3.14 + 3.55) / 3 = 3.39s$$

$$V = \Delta s / \Delta t \quad v = 1m / 3.39s = 0.295m/s$$

$$F_{teorica} = f \cdot v = 40.193kHz \cdot 0.295m/s = 40.228kHz$$

$$Er\% = \frac{f_{sperimentale} - f_{teorica}}{f_{teorica}} \cdot 100 = \frac{40.235 - 40.228}{40.228} \cdot 100 = 0.02\%$$

n	t(s)	tm(s)	v(m/s)	f emessa (kHz)	f teorica (kHz)	f sperimentale (kHz)	Er%
2	2.82	2.87	0.348	40.220	40.261	40.233	0.04
	2.89			40.210	40.251	40.248	
	2.90			40.201	40.242	40.228	
				40.210	40.251	40.236	

$$t_m = (2.82 + 2.89 + 2.90) / 3 = 2.87 \text{ s}$$

$$v = 1 \text{ m} / 2.87 \text{ s} = 0.348 \text{ m/s}$$

$$f = *40.220 \text{ kHz} = 40.233 \text{ kHz}$$

$$f = *40.210 \text{ kHz} = 40.248 \text{ kHz}$$

$$f = *40.201 \text{ kHz} = 40.228 \text{ kHz}$$

$$V_m == 40.210 \text{ kHz}$$

$$V_m == 40.251 \text{ kHz}$$

$$V_m == 40.236 \text{ kHz}$$

$$Er\% = *100 = 0.04\%$$

n	t(s)	t _m (s)	v(m/s)	f emessa (kHz)	f teorica (kHz)	f sperimentale (kHz)	Er%
3	2.04	2.17	0.461	40.188	40.242	40.238	0.03
	2.15			40.183	40.237	40.209	
	2.33			40.182	40.236	40.233	
				40.184	40.238	40.227	

$$t_m = (2.04 + 2.15 + 2.33) / 3 = 2.17 \text{ s}$$

$$v = 1 \text{ m} / 2.17 \text{ s} = 0.461 \text{ m/s}$$

$$f = *40.188 \text{ kHz} = 40.238 \text{ kHz}$$

$$f = *40.183 \text{ kHz} = 40.209 \text{ kHz}$$

$$f = *40.182 \text{ kHz} = 40.233 \text{ kHz}$$

$$V_m == 40.184 \text{ kHz}$$

$$V_m == 40.238 \text{ kHz}$$

$V_m = 40.227 \text{ kHz}$

$Er\% = *100 = 0.03\%$

n	t(s)	t _m (s)	v(m/s)	f emessa (kHz)	f teorica (kHz)	f sperimentale (kHz)	Er%
4	2.06	2.04	0.490	40.372	40.314	40.352	0.08
	2.01			40.368	40.310	40.344	
	2.04			40.368	40.310	40.330	
				40.369	40.311	40.342	

$t_m = (2.06 + 2.01 + 2.04) / 3 = 2.04 \text{ s}$

$v = 1 \text{ m} / 2.04 \text{ s} = 0.490 \text{ m/s}$

$f = *40.372 \text{ kHz} = 40.314 \text{ kHz}$

$f = *40.368 \text{ kHz} = 40.310 \text{ kHz}$

$f = *40.368 \text{ kHz} = 40.310 \text{ kHz}$

$V_m = 40.369 \text{ kHz}$

$V_m = 40.311 \text{ kHz}$

$V_m = 40.342 \text{ kHz}$

$Er\% = *100 = 0.08\%$

n	t(s)	t _m (s)	v(m/s)	f emessa (kHz)	f teorica (kHz)	f sperimentale (kHz)	Er%
---	------	--------------------	--------	----------------	-----------------	----------------------	-----

5	2.82	2.78	0.360	40.364	40.322	40.225	0.06
	2.78			40.362	40.320	40.338	
	2.75			40.361	40.319	40.328	
				40.362	40.320	40.297	

$$t_m = (2.82 + 2.78 + 2.75) / 3 = 2.78 \text{ s}$$

$$v = 1 \text{ m} / 2.78 \text{ s} = 0.360 \text{ m/s}$$

$$f = *40.364 \text{ kHz} = 40.322 \text{ kHz}$$

$$f = *40.362 \text{ kHz} = 40.320 \text{ kHz}$$

$$f = *40.361 \text{ kHz} = 40.319 \text{ kHz}$$

$$V_m == 40.362 \text{ kHz}$$

$$V_m == 40.320 \text{ kHz}$$

$$V_m == 40.297 \text{ kHz}$$

$$Er\% = *100 = 0.06\%$$

Osservazioni e conclusioni:

Le prove effettuate si sono rivelate molto precise, presentando errori relativi percentuali minimi tutti al di sotto dello 0,1%. Si è potuto replicare l'effetto Doppler in laboratorio e osservare come le pre teoria corrisponda in maniera precisa alla pratica, dato che il valore della frequenza sperimentale è molto simile a quello teorico.