

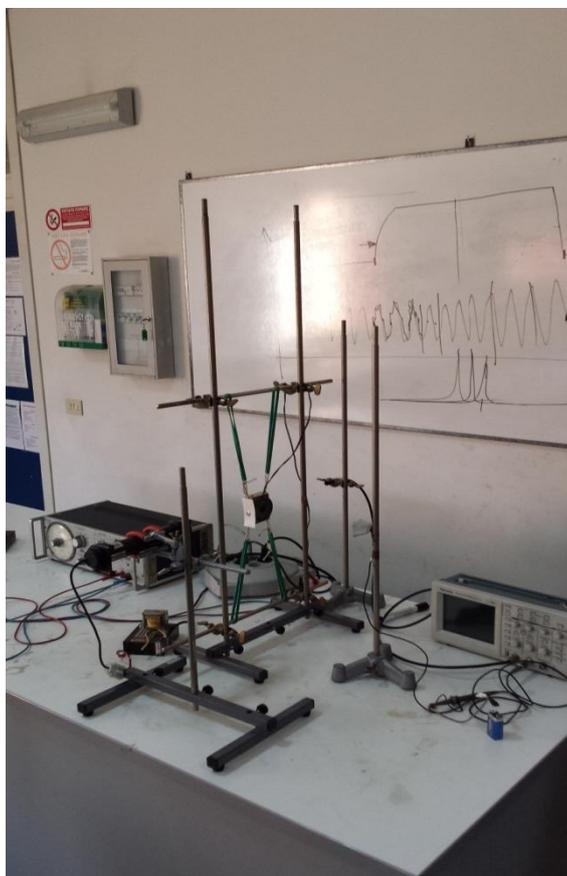
Titolo: Misura e verifica dell'effetto Doppler

Autori e data: Andrea Caporali; Davide Cencioni; 29/11/2015

Introduzione: L'esperimento è stato fatto per verificare l'effetto Doppler.

Setup sperimentale: Il meccanismo per l'esperimento è quello raffigurato in figura: è formato da un altoparlante centrale, legato a quattro elastici negli angoli, che ha vicino (a destra in figura) un microfono. All'altoparlante è collegato, tramite dei cavetti, un generatore a bassa frequenza regolabile (il parallelepipedo più a sinistra) che gli fornisce una frequenza fissa. Il microfono è collegato ad un oscilloscopio digitale che ne registra i segnali. Perpendicolarmente all'altoparlante c'è un laser ed una fotocellula, che sono allineati: il laser colpisce la fotocellula che registra un segnale elettrico e lo invia all'oscilloscopio. Il segnale della fotocellula viene però inviato al trigger, un dispositivo software che sincronizza la partenza dell'acquisizione del segnale elettrico: questo vuol dire che la fotocellula dà il segnale al trigger solo quando l'altoparlante, largo 3,5 cm, gli passa davanti.

L'esperimento è stato svolto in due modalità: in un caso gli elastici che reggono l'altoparlante, che è la sorgente delle onde sonore, vengono tirati in modo che si avvicini al microfono, il ricevitore; nel secondo caso vengono tirati nella direzione opposta, in modo che l'altoparlante si allontani dal ricevitore. In ognuno dei casi viene effettuata una singola acquisizione di dati.

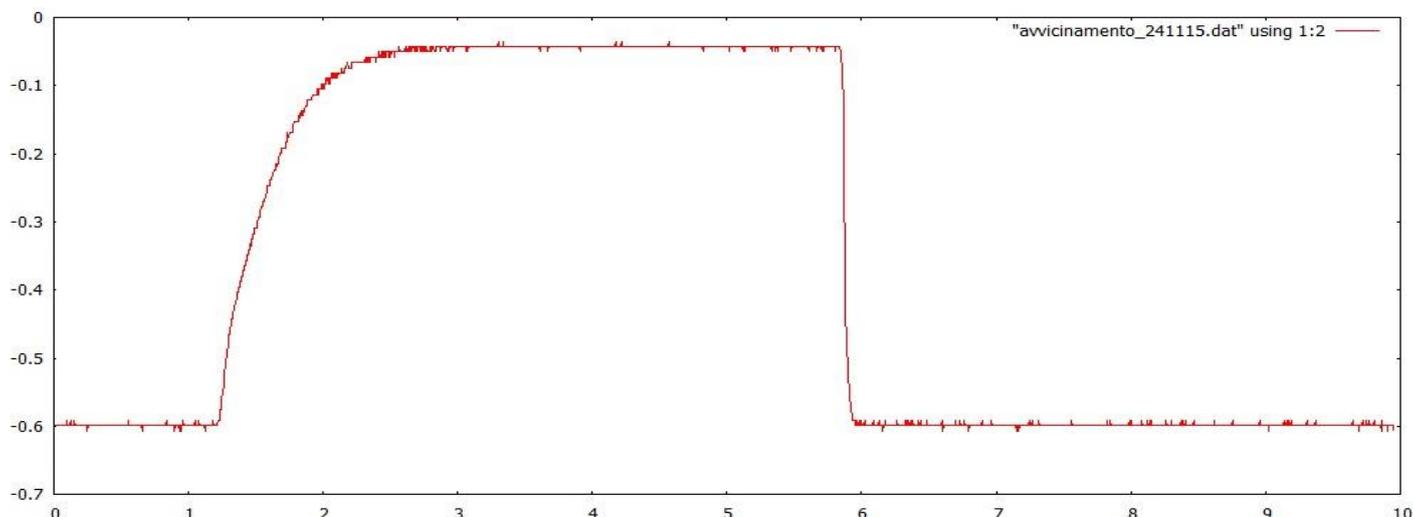


Analisi dei dati: la prima fase consiste nel misurare indirettamente la velocità dell'altoparlante; si può fare presupponendo che la velocità sia costante nei pochi millisecondi in cui l'altoparlante passa davanti alla fotocellula: questo deriva dal fatto che quando l'altoparlante passa in quel punto, la componente trasversale della forza esercitata dagli elastici è approssimativamente pari a zero (ovviamente rimane la componente verticale della forza, che però non implica un'accelerazione dell'altoparlante). Premesso ciò, possiamo dire che $v = \frac{s}{\Delta t}$, dove lo spazio è 3,5 cm e il tempo è la durata dell'ombra dell'altoparlante sulla fotocellula, che possiamo ricavare dal grafico. Nei vari casi le velocità misurate sono:

- $u = \frac{0,035 \text{ m}}{(5,93729 - 1,22728) \text{ ms}} = 7,43 \text{ m/s}$ (avvicinamento a bassa frequenza)
- $u = \frac{0,035 \text{ m}}{(8,2711 - 1,2136) \text{ ms}} = 4,96 \text{ m/s}$ (allontanamento a bassa frequenza)

- $u = \frac{0,035 \text{ m}}{(6,627-1,601)\text{ms}} = 6,97 \text{ m/s}$ (avvicinamento ad alta frequenza)

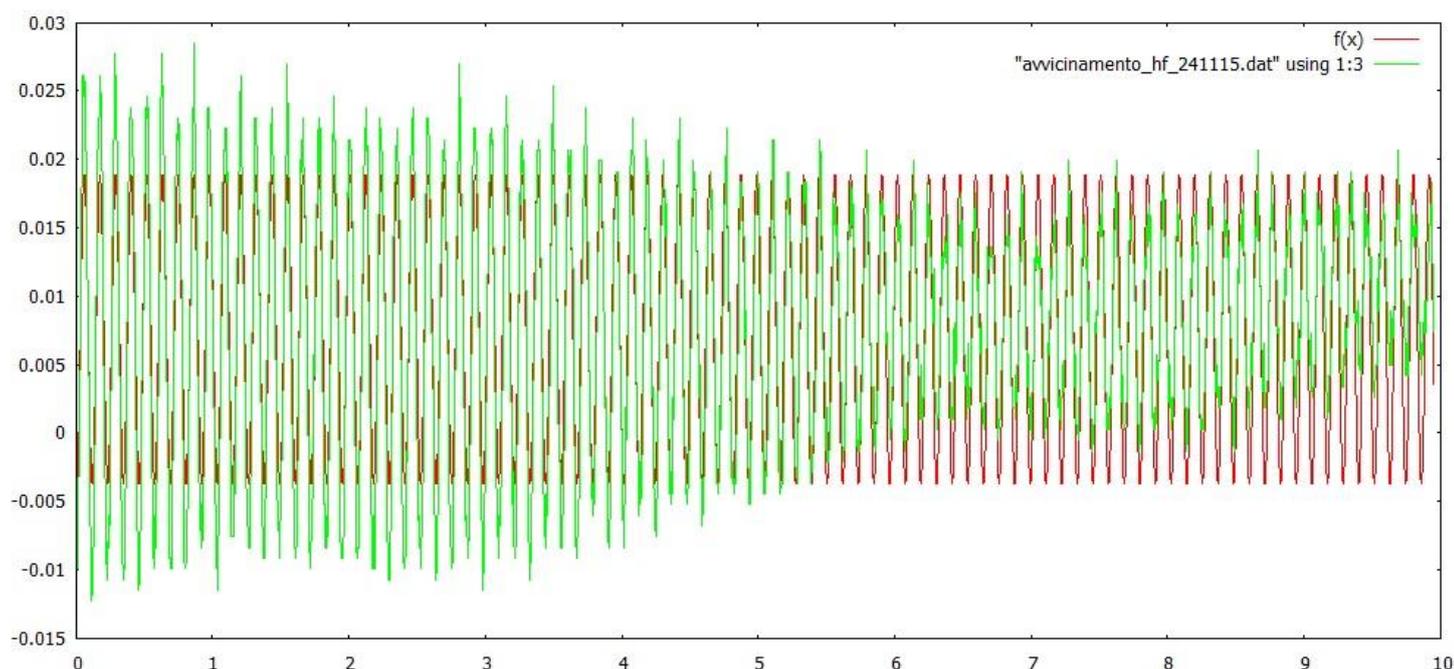
Nella figura sottostante è raffigurato un esempio del grafico da cui trarre la velocità dell'altoparlante: nello specifico è raffigurato il grafico dell'avvicinamento a bassa frequenza, ma il metodo è uguale in tutti i casi.



La seconda fase è misurare la frequenza dell'altoparlante fermo e le frequenze dell'altoparlante in movimento, e per farlo si usano i dati provenienti dal canale 3, ossia il segnale ricevuto dal microfono (il canale 2, le cui misure sono raffigurate nelle ordinate del grafico sopra, trasmette i segnali dati dalla fotocellula); usando questi dati il grafico prodotto è una sinusoide, che rappresenta l'onda sonora prodotta dall'altoparlante. Facendo un fit si può ricavare il valore più o meno preciso della frequenza in ogni caso; i dati ricavati sono questi:

- **5114,86 Hz ($\pm 0,0001\%$) nel caso dell'altoparlante fermo a bassa frequenza**
- 5252,51 Hz ($\pm 0,001653\%$) nel caso dell'avvicinamento a bassa frequenza
- 5013,48 Hz ($\pm 0,002123\%$) nel caso dell'allontanamento a bassa frequenza
- **8494,81 Hz ($\pm 0,001\%$) nel caso dell'altoparlante fermo ad alta frequenza**
- 8727,41 Hz ($\pm 0,005818\%$) nel caso dell'avvicinamento ad alta frequenza

N.B: quest'ultima misura va presa con poca fiducia, poichè la sinusoide è molto irregolare, probabilmente per colpa della scarsa sensibilità del microfono a frequenze così alte, o del troppo rumore esterno durante la registrazione.



L'immagine dà l'idea di quanto il fit si possa male adattare ad una sinusoide così imperfetta; l'errore percentuale per questa misurazione è infatti molto alto.

Adesso che abbiamo tutti i dati che potevamo ottenere dalle misurazioni, arriva il momento di confrontarli con quelli che dovrebbe "idealmente" produrre l'effetto Doppler nel caso di una sorgente in movimento, la cui formula è $f' = \frac{1}{1 \pm \frac{u}{v}} * f$, dove u è la velocità dell'altoparlante, v è la velocità del suono nell'aria pari a 343 m/s (un dato che non è certo e cambia a seconda della densità, e quindi della temperatura e dell'umidità, dell'aria), f è la frequenza dell'altoparlante fermo e f' è quella dell'altoparlante in movimento.

Le frequenze in allontanamento ed avvicinamento misurate in questo modo indiretto sono:

- 5228,11 Hz nel caso dell'avvicinamento a bassa frequenza
- 5041,20 Hz nel caso dell'allontanamento a bassa frequenza
- 8671,01 Hz nel caso dell'avvicinamento ad alta frequenza

Ricapitolando:

	Frequenza effettiva (trovata con i fit)	Frequenza teorica (trovata con la formula)
Avvicinamento bassa frequenza	5252,51 Hz ($\pm 0,001653\%$)	5228,11 Hz
Allontanamento bassa frequenza	5013,48 Hz ($\pm 0,002123\%$)	5041,20 Hz
Avvicinamento alta frequenza	8727,41 Hz ($\pm 0,005818\%$)	8671,01 Hz

Conclusioni:

La prima cosa da osservare è che la frequenza dell'altoparlante aumenta in avvicinamento al ricevitore e cala allontanandosene: questo è già una prima importante verifica dell'effetto Doppler.

In secondo luogo è però evidente che l'effetto Doppler è un po' più accentuato nella realtà rispetto alle frequenze trovate con la formula: questo implica che c'è un piccolo errore nei calcoli o nel procedimento.

Consideriamo i possibili errori:

- L'esperimento è stato svolto usando degli elastici, e quindi l'altoparlante passava una volta sola davanti alla fotocellula; per un esperimento più preciso si sarebbe dovuto far passare l'altoparlante più volte davanti alla fotocellula, facendo girare l'altoparlante in moto circolare, in modo da avere più acquisizioni di dati.

- Le frequenze misurate con i fit hanno un errore che è, in ogni misurazione, completamente trascurabile: in ogni caso l'errore modifica la frequenza di nemmeno 1 Hz.

- Le velocità dell'altoparlante sono state ricavate dividendo lo spazio per il tempo. Il tempo è stato preso in millisecondi e lo spazio è 3,5 cm: un errore in misure così piccole, se c'è, è sempre trascurabile.

- Abbiamo scelto di usare come convenzione per la velocità del suono nell'aria 343 m/s, ma questa misura non è una costante universale ma, come già detto, dipende da vari fattori. Infatti in questo esperimento, per far adattare perfettamente le misure teoriche della frequenza servirebbe una velocità del suono molto più bassa, nello specifico 245 m/s per l'allontanamento, 283 m/s per l'avvicinamento a bassa frequenza e 261 m/s per l'avvicinamento ad alta frequenza; in media quindi una velocità di 263 m/s, decisamente più bassa di quella convenzionale.

Sarebbe quindi interessante svolgere un esperimento per misurare la velocità del suono dell'aria: un esperimento facile potrebbe essere generare un impulso sonoro, e lasciare che questo venga registrato da due microfoni distanziati fra loro; i microfoni dovrebbero essere collegati entrambi ad un processore che calcoli l'intervallo di tempo Δt che passa tra l'inizio della registrazione dell'uno e l'inizio della registrazione dell'altro. Dividendo lo spazio fra i due microfoni per questa Δt si otterrà la velocità del suono nell'aria al momento. Si può anche ripetere l'esperimento più volte, riposizionando i microfoni a distanze diverse.