

# Effetto Doppler

(exp. id 20200916-2-v1)

Un esperimento proposto da

Prof. Alessandro Ercoli and Prof.ssa Cristina Trifolelli, Liceo Scientifico Statale "P. Ruffini", Viterbo, Italy  
tradotto<sup>1</sup> dall'inglese a cura di Alessandro Bogdan - Liceo Scientifico "Tullio Levi Civita" (Roma)

## Introduzione

Con questo esperimento vogliamo studiare quantitativamente e qualitativamente il fenomeno dell'effetto Doppler, sfruttando la le potenzialità di PHYPHOX, un'app gratuita per smartphone.

L'effetto Doppler è la variazione della frequenza percepita da un osservatore raggiunto da un'onda periodica emessa da una sorgente, in caso di moto relativo tra sorgente e osservatore.

Nel caso particolare dell'effetto Doppler di onde sonore, se l'osservatore è in moto rispetto alla sorgente, la frequenza  $f'$  dell'onda, percepita dall'osservatore, è legata alla frequenza  $f_0$  dell'onda, emessa dalla sorgente, attraverso la relazione:

$$f' = f_0 \left( 1 \pm \frac{u}{v} \right),$$

dove  $v$  è la velocità del suono nell'aria e  $u$  è la velocità dell'osservatore. Il segno  $+$  si applica se l'osservatore si muove verso la sorgente, il  $-$  se l'osservatore si allontana dalla sorgente.

La formula precedente si usa solo se la sorgente e l'osservatore si muovono lungo la stessa direzione. Più in generale, se la direzione della velocità del suono forma un angolo  $\theta$  con la direzione della velocità dell'osservatore (Fig. 1), bisogna modificare la formula precedente introducendo un fattore  $\cos\theta$  in maniera tale che risulti:

$$f' = f_0 \left( 1 + \frac{u \cdot \cos\theta}{v} \right).$$

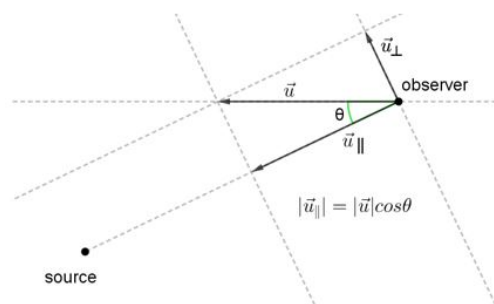


Fig.1

## Primo esperimento

### Materiali

- Due smartphone con PHYPHOX installato.
- Una molla di costante elastica nota e abbastanza robusta per sostenere il peso di uno smartphone.
- Un supporto per la molla.

Se non si conosce la costante elastica della molla, se ne può stimare il valore misurando il suo allungamento sotto l'azione di una forza nota. In questo caso bisogna munirsi anche di:

<sup>1</sup>Lavoro eseguito nell'ambito di un progetto PCTO con la collaborazione di Graziano Surace, Sapienza Università di Roma.

- un righello;
- una bilancia.

In fase di calibrazione, misurata la deformazione  $x$  della molla sotto l'effetto di un peso  $mg$  noto, per esempio uno smartphone ( $m$  è la massa misurata con la bilancia, e  $g = 9.8 \text{ ms}^{-2}$  l'accelerazione gravitazionale), il valore della costante elastica si ricava direttamente dalla condizione di equilibrio tra forza peso e forza di richiamo elastica:  $k = \frac{mg}{x}$ .

Usiamo uno smartphone come sorgente sonora usando la modalità “Generatore di suoni” di PHYPHOX. Appendiamo l'altro smartphone (osservatore) con un'imbracatura adatta (ad esempio un elastico resistente o una bustina, di plastica o di carta), immediatamente sopra il primo, impostando il campo “frequenza da fermo” del primo smartphone sulla stessa frequenza della sorgente. Quindi tendiamo la molla di una lunghezza misurata  $x$  e, prima di lasciarla oscillare, attiviamo la modalità “Effetto Doppler” di PHYPHOX sullo smartphone osservatore.

Conoscendo la costante elastica della molla e l'allungamento iniziale di questa,  $x$ , si può calcolare la velocità massima dello smartphone durante le sue oscillazioni. Sfruttando la teoria dell'effetto Doppler si può, quindi, stimare la frequenza massima e la frequenza minima dell'onda sonora misurata dallo smartphone osservatore.

Confronta i risultati sperimentali con le previsioni teoriche studiando il grafico della frequenza e della velocità nella scheda “Results” dell'esperimento “Effetto Doppler” di PHYPHOX, sullo smartphone osservatore.

È anche possibile invertire la posizione dell'osservatore e della sorgente (appendendo la sorgente alla molla e lasciando lo smartphone osservatore fermo). In questo caso, la formula è:

$$f' = f_0 \left( \frac{v}{v \pm u} \right)$$

dove i simboli hanno lo stesso significato descritto sopra.

## Secondo esperimento

### Materiali

- Due smartphone con PHYPHOX installato.
- Una piattaforma rotante, ad esempio un giradischi.
- Una custodia per uno dei due smartphone.
- Nastro biadesivo.

Fissiamo uno smartphone (denominato osservatore), con la modalità “Effetto Doppler” di PHYPHOX attiva, sulla piattaforma rotante in modo tale che il suo microfono si affacci sulla parte esterna della piattaforma stessa. Fissiamo il secondo smartphone (denominato sorgente), con la modalità “Generatore di suoni” di PHYPHOX attiva, sul bordo della piattaforma rotante. Durante l'esperimento, la rotazione della piattaforma deve essere il più uniforme possibile. Impostiamo il campo “frequenza da fermo” nello smartphone dell'osservatore sulla stessa frequenza della sorgente. Visto dall'alto, l'apparato si può rappresentare come in Fig. 2 dove

- S è la posizione della sorgente.
- R è la posizione generica dello smartphone sulla piattaforma rotante.
- G e D sono le estremità del diametro allineato con la posizione della fonte.

Osserva i grafici della frequenza e della velocità memorizzati nella scheda “Results” dell'esperimento “Effetto Doppler” di PHYPHOX.

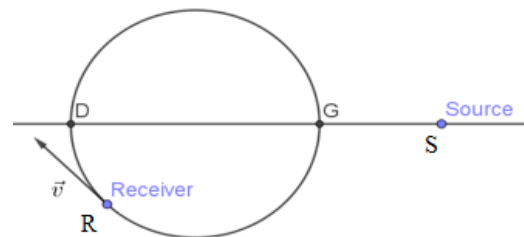
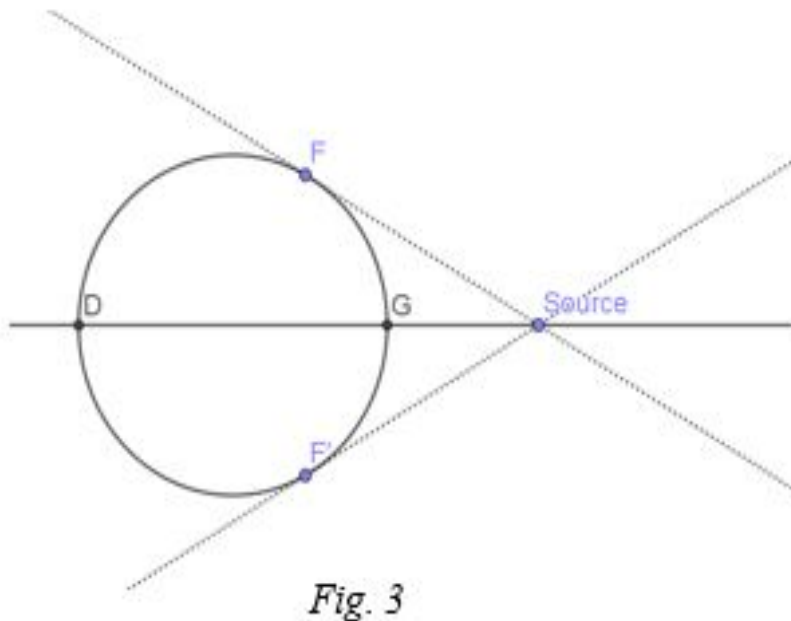


Fig. 2

## Domande

- Quali elementi nel grafico mostrano che l'osservatore sta osservando l'effetto Doppler?
- Quale componente della velocità dell'osservatore  $\vec{v}$  ha un ruolo rilevante nell'effetto Doppler osservato?
- Quali posizioni dello smartphone corrispondono alle frequenze massime e minime individuate sul grafico delle frequenze, e perché?
- Lo smartphone rileva la stessa frequenza emessa dalla sorgente due volte in ogni giro. In quali posizioni accade e perché?
- Sul grafico della frequenza, è possibile individuare quando:
  - la piattaforma rotante è ancora ferma?
  - l'osservatore si trova nei punti D,F,G,F' indicati nella Fig. 3?



# Per l'insegnante

(exp. id 20200916-2-v1)

- Un diapason emette suoni più puri rispetto a quelli generati da una sorgente digitale. Quindi è preferibile il primo alla seconda. D'altra parte, il diapason emette un suono di ampiezza non costante. Quando la sorgente è ferma puoi considerare l'utilizzo di strumenti online come [onlinetonegenerator.com](http://onlinetonegenerator.com).
- Si dovrebbe mantenere la velocità della piattaforma rotante il più costante possibile (usando un giradischi questo si ottiene facilmente).
- A seconda del tipo di molla, potrebbe essere necessario appendere masse aggiuntive allo smartphone.
- Nei negozi *online* si trovano *kit* di molle con caratteristiche adeguate, ma occorre fare attenzione perché spesso queste molle non sono di buona qualità e tendono a deformarsi; ci sono però fornitori specializzati che spediscono anche piccole quantità di molle in acciaio armonico a prezzi contenuti.
- È necessario predisporre un ambiente silenzioso durante l'acquisizione dei dati.
- Prima di iniziare con l'esperimento, devi impostare la "frequenza da fermo", "l'intervallo di frequenze", "l'intervallo temporale" e la "velocità del suono". Nelle Figure 4 e 5 puoi vedere i risultati dell'esperimento con la "frequenza da fermo" impostata a 512 Hz, con l'"intervallo di frequenze" a 5.0 Hz, l'"intervallo temporale" uguale a 100 ms e la velocità del suono a 340 m/s.
- Questo esperimento è stato testato con successo nel 2018 in un corso di formazione di fisica per insegnanti di scuole secondarie di secondo grado, ed è spesso utilizzato nelle classi degli ultimi anni di scuola secondaria di secondo grado.

## Obiettivi, Livello di distribuzione, e Durata

Obiettivo primario: studiare gli aspetti teorici dell'effetto Doppler e verificare la legge attraverso esperimenti che utilizzano strumenti digitali.

Obiettivo secondario: sviluppare la competenza di estrapolare le caratteristiche principali del fenomeno fisico studiato attraverso l'analisi dei grafici acquisiti.

Adatto per: scuole secondarie di secondo grado.

Durata: 1-2 ore di acquisizione dati, 1-2 ore di analisi dei dati, 2-3 ore per una breve relazione.

## Risultati attesi

### MOLLA

La Fig. 4 mostra i risultati dell'esperimento con una molla di  $k = 1200 \text{ N/m}$  con uno smartphone appeso, usato come osservatore. La massa dello smartphone usato è 152 g e la frequenza della sorgente ferma è  $f_0 = 512 \text{ Hz}$ .

Sono evidenziate in giallo due parti, in particolare:

1. Lo smartphone osservatore è fermo e la frequenza misurata  $f'$  è uguale alla frequenza della sorgente  $f_0$ .
2. Lo smartphone osservatore sta oscillando e il grafico della frequenza misurata è sinusoidale con il periodo uguale al periodo di oscillazione dello smartphone.
  - Ci sono istanti di tempo in cui la frequenza misurata è ancora uguale a  $f_0$ : questi corrispondono a istanti di tempo in cui lo smartphone è fermo, ossia in condizioni di massima compressione o di allungamento della molla, quando la velocità dello smartphone è uguale a zero.
  - Gli intervalli di tempo in cui  $f' < f_0$  e  $f' > f_0$  corrispondono rispettivamente al moto di



Fig. 4

allontanamento e avvicinamento dello smartphone alla sorgente, cioè rispettivamente al suo moto verso l'alto e verso il basso.

- La frequenza misurata ha i suoi massimi e minimi valori negli istanti di tempo di massima velocità dello smartphone, cioè quando passa per la sua posizione d'equilibrio. Si raggiungono i massimi valori di frequenza quando lo smartphone scende (si avvicina alla fonte), i minimi valori, quando lo smartphone sale (si allontana dalla fonte).

## LA PIATTAFORMA ROTANTE

La Fig. 5 mostra il grafico della frequenza ottenuto con la piattaforma rotante. Sono evidenziate in giallo tre parti, in particolare:

1. La piattaforma è ferma in un punto tra F' e D e lo smartphone registra il suono puro di un diapason che emette alla frequenza di 512 Hz.
2. La piattaforma ruota in senso orario e (Fig. 6)
  - $f'$  inizialmente è minore di  $f_0$  poiché, fino a D, lo smartphone si allontana dalla sorgente;
  - successivamente, lo smartphone passa per D dove la velocità  $\vec{v}$  non ha componente lungo la direzione della sorgente, quindi  $f' = f_0$ ;
  - infine, prima di raggiungere F, lo smartphone si avvicina alla sorgente e quindi la frequenza aumenta.



Fig.5

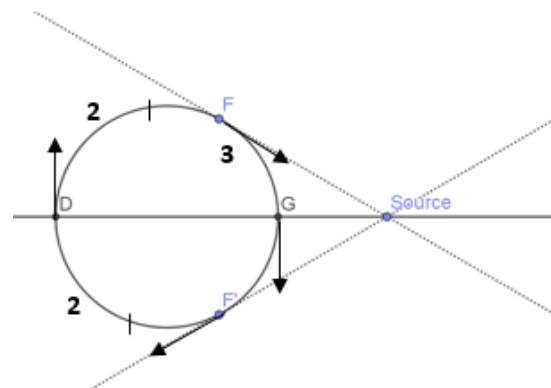


Fig. 6

3. La piattaforma raggiunge e oltrepassa il punto F (Fig. 6)
  - in F, la componente della velocità lungo la direzione della sorgente è massima e quindi la frequenza misurata ha il valore massimo, come previsto dalla teoria dall'effetto Doppler;
  - in un tempo minore rispetto a quello trascorso tra D e F, lo smartphone passa per G dove, nuovamente, la velocità  $\vec{v}$  non ha componenti lungo la direzione della sorgente, quindi di nuovo  $f' = f_0$ . Le differenze di tempo da F' a F e da F a F' dipendono dalla distanza GS;
  - lo smartphone raggiunge F' dove, di nuovo, la componente di  $\vec{v}$  lungo la direzione della sorgente è massima, ma, poiché sorgente e osservatore si stanno allontanando, la frequenza misurata ha il valore massimo.

## Risposte alle domande aperte

- Quali elementi del grafico mostrano che l'osservatore sta rilevando l'effetto Doppler?  
*L'osservatore (ovvero lo smartphone) rileva piccole variazioni di frequenza nel segnale misurato rispetto a quello emesso.*
- Quale componente della velocità tangenziale  $\vec{v}$  dell'osservatore ha un ruolo rilevante nell'effetto Doppler osservato?  
*Si rilevano i picchi dove la direzione osservatore-sorgente è tangente alla circonferenza: si rileva la massima  $f$  quando si avvicinano, la minima quando si allontanano.*
- Lo smartphone rileva la stessa frequenza emessa due volte in ogni giro. In quali punti accade ciò e perché?  
*Questo accade dove la velocità  $\vec{v}$  non ha componenti lungo la direzione osservatore-direzione, ovvero nei punti del diametro allineati con la posizione occupata dalla sorgente.*

## Ulteriori informazioni online

---

Lasciate opinioni, suggerimenti, commenti e notizie sull'utilizzo di questa risorsa sul canale corrispondente a questo esperimento all'interno dello spazio di lavoro di Slack "smartphysicslab.slack.com". Gli insegnanti possono chiedere di essere registrati sulla piattaforma attraverso il modulo presente sulla *home page* di [smartphysicslab.org](http://smartphysicslab.org) e ottenere così l'invito alla registrazione su Slack ed essere inseriti nella *mailing list* di smartphysicslab.