Università degli Studi di Milano
Facoltà di Medicina e Chirurgia

Corso di laurea

Scuola di Specializzazione in Audiologia e Foniatria

Corso di Fisica A.A. 2022-2023
Docente: Marie Claire Cantone

4. FENOMENI ONDULATORI

Il livello di intensità sonora percepito da una finestra aperta di dimensioni 0.5 m x 2.0 m è 60 dB. Calcolare l'energia che entra in 1 ora attraverso tale finestra.

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

Il livello di intensità sonora percepito da una finestra aperta di dimensioni 0.5 m x 2.0 m è 60 dB. Calcolare l'energia che entra in 1 ora attraverso tale finestra.

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

$\beta = 60$ dB

$I_0 = 10^{-12}$ W/m^2

Il livello di intensità sonora percepito da una finestra aperta di dimensioni 0.5 m x 2.0 m è 60 dB. Calcolare l'energia che entra in 1 ora attraverso tale finestra.

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

$\beta = 60$ dB $\qquad I_0 = 10^{-12}$ W/m^2

$$\beta = 10 \log \frac{I}{10^{-12}} = 60 \text{ dB}$$

I = ????

Il livello di intensità sonora percepito da una finestra aperta di dimensioni 0.5 m x 2.0 m è 60 dB. Calcolare l'energia che entra in 1 ora attraverso tale finestra.

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

$\beta = 60$ dB $\qquad I_0 = 10^{-12}$ W/m^2

$$\beta = 10 \log \frac{I}{10^{-12}} = 60 \text{ dB}$$

I = ????

$10 \log x = 60$ $\qquad x$ = ????

Il livello di intensità sonora percepito da una finestra aperta di dimensioni 0.5 m x 2.0 m è 60 dB. Calcolare l'energia che entra in 1 ora attraverso tale finestra.

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

$\beta = 60$ dB $\qquad I_0 = 10^{-12}$ W/m^2

$$\beta = 10 \log \frac{I}{10^{-12}} = 60 \text{ dB}$$

I = ????

$10 \log x = 60$

$x = 10^6$

x = ????

$10 \log 10^6 = 60$

Il livello di intensità sonora percepito da una finestra aperta di dimensioni 0.5 m x 2.0 m è 60 dB. Calcolare l'energia che entra in 1 ora attraverso tale finestra.

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

$\beta = 60$ dB $\qquad I_0 = 10^{-12}$ W/m^2

$$\beta = 10 \log \frac{I}{10^{-12}} = 60 \text{ dB}$$

I = ????

$10 \log x = 60$

$x = 10^6$

x = ????

$10 \log 10^6 = 60$

$I = 10^{-6}$

Il livello di intensità sonora percepito da una finestra aperta di dimensioni 0.5 m x 2.0 m è 60 dB. Calcolare l'energia che entra in 1 ora attraverso tale finestra.

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

$\beta = 60$ dB $\qquad I_0 = 10^{-12}$ W/m^2

$$\beta = 10 \log \frac{I}{10^{-12}} = 60 \text{ dB}$$

I = ????

$10 \log x = 60$

$x = 10^6$

x = ????

$10 \log 10^6 = 60$

$$\beta = 10 \log \frac{10^{-6}}{10^{-12}} = 60 \text{ dB}$$

$I = 10^{-6}$

Il livello di intensità sonora percepito da una finestra aperta di dimensioni 0.5 m x 2.0 m è 60 dB. Calcolare l'energia che entra in 1 ora attraverso tale finestra.

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

$\beta = 60$ dB $\qquad I_0 = 10^{-12}$ W/m^2

$$\beta = 10 \log \frac{I}{10^{-12}} = 60 \text{ dB}$$

I = ????

$10 \log x = 60$

$x = 10^6$

x = ????

$10 \log 10^6 = 60$

$$\beta = 10 \log \frac{10^{-6}}{10^{-12}} = 60 \text{ dB}$$

$I = 10^{-6}$

Livello di intensità del suono in dB per alcune sorgenti sonore

Sorgente	I(W/m^2)	β (dB)
mormorio lieve	10^{-9}	30
conversazione normale	10^{-6}	60
orchestra	10^{-2}	100
martello pneumatico	1	120

Il livello di intensità sonora percepito da una finestra aperta di dimensioni 0.5 m x 2.0 m è 60 dB. Calcolare l'energia che entra in 1 ora attraverso tale finestra.

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

$\beta = 60$ dB $\qquad I_0 = 10^{-12}$ W/m^2

$$\beta = 10 \log \frac{I}{10^{-12}} = 60 \text{ dB}$$

$I = ????$

$10 \log x = 60$

$x = 10^6$

$x = ????$

$10 \log 10^6 = 60$

$$\beta = 10 \log \frac{10^{-6}}{10^{-12}} = 60 \text{ dB}$$

$I = 10^{-6}$

Il livello di intensità sonora percepito da una finestra aperta di dimensioni 0.5 m x 2.0 m è 60 dB. **Calcolare l'energia che entra in 1 ora attraverso tale finestra.**

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

La intensità sonora come è collegata alla energia ???

$\beta = 60$ dB

$I_0 = 10^{-12}$ W/m^2

$$\beta = 10 \log \frac{I}{10^{-12}} = 60 \text{ dB}$$

I = ????

$10 \log x = 60$

$x = 10^6$

x = ????

$10 \log 10^6 = 60$

$$\beta = 10 \log \frac{10^{-6}}{10^{-12}} = 60 \text{ dB}$$

$I = 10^{-6}$

Il livello di intensità sonora percepito da una finestra aperta di dimensioni 0.5 m x 2.0 m è 60 dB. **Calcolare l'energia che entra in 1 ora attraverso tale finestra.**

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

La intensità sonora come è collegata alla energia ???

$\beta = 60$ dB

$I_0 = 10^{-12}$ W/m^2

$$\beta = 10 \log \frac{I}{10^{-12}} = 60 \text{ dB}$$

I = ????

$10 \log x = 60$

$x = 10^6$

x = ????

$10 \log 10^6 = 60$

$$\beta = 10 \log \frac{10^{-6}}{10^{-12}} = 60 \text{ dB}$$

$I = 10^{-6}$

L' intensità di un suono (I) è definita come rapporto fra la potenza sonora (P) che attraversa una superficie e l'area (A) delle superficie stessa.

$I = P / A$

$[P] = [M L^2 T^{-3}]$

$[I] = [M T^{-3}]$

Il livello di intensità sonora percepito da una finestra aperta di dimensioni 0.5 m x 2.0 m è 60 dB. **Calcolare l'energia che entra in 1 ora attraverso tale finestra.**

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

La intensità sonora come è collegata alla energia ???

$\beta = 60$ dB

$I_0 = 10^{-12}$ W/m^2

$$\beta = 10 \log \frac{I}{10^{-12}} = 60 \text{ dB}$$

I = ????

$10 \log x = 60$

$x = 10^6$

x = ????

$10 \log 10^6 = 60$

$$\beta = 10 \log \frac{10^{-6}}{10^{-12}} = 60 \text{ dB}$$

$I = 10^{-6}$

L' intensità di un suono (I) è definita come rapporto fra la potenza sonora (P) che attraversa una superficie e l'area (A) delle superficie stessa.

$$I = P / A$$

$P = E / \Delta t$

1 W = 1 J/s

$[P] = [M L^2 T^{-3}]$

$[I] = [M T^{-3}]$

Il livello di intensità sonora percepito da una finestra aperta di dimensioni 0.5 m x 2.0 m è 60 dB. **Calcolare l'energia che entra in 1 ora attraverso tale finestra.**

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

La intensità sonora come è collegata alla energia ???

$\beta = 60$ dB $\qquad I_0 = 10^{-12}$ W/m²

$$\beta = 10 \log \frac{I}{10^{-12}} = 60 \text{ dB}$$

$I = ????$

$10 \log x = 60$ $\qquad x = ????$

$x = 10^6$ $\qquad 10 \log 10^6 = 60$

$$\beta = 10 \log \frac{10^{-6}}{10^{-12}} = 60 \text{ dB}$$

$I = 10^{-6}$ W/m²

$I = P / A$

$P = E / \Delta t$

1 W = 1 J/s

1 ora

$E = P \Delta t = 10^{-6}$ W x 3600 s

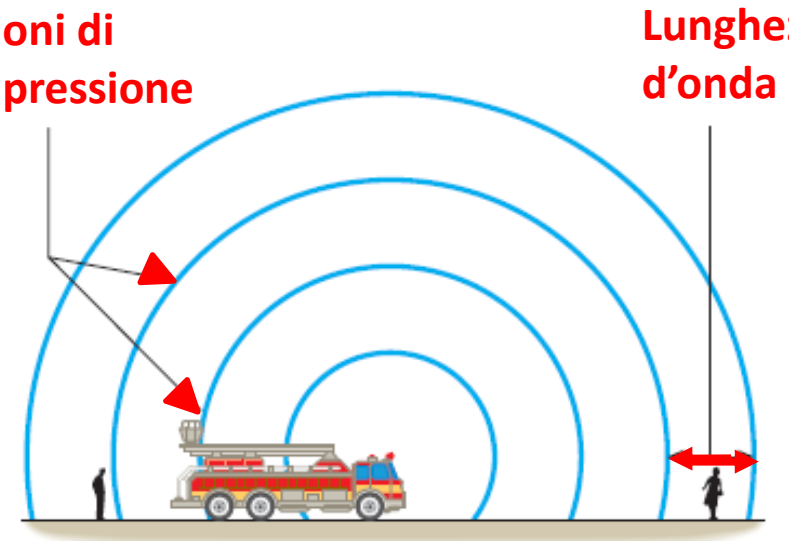
$E = 10^{-3}$ x 3.6 J = **0.0036 J**

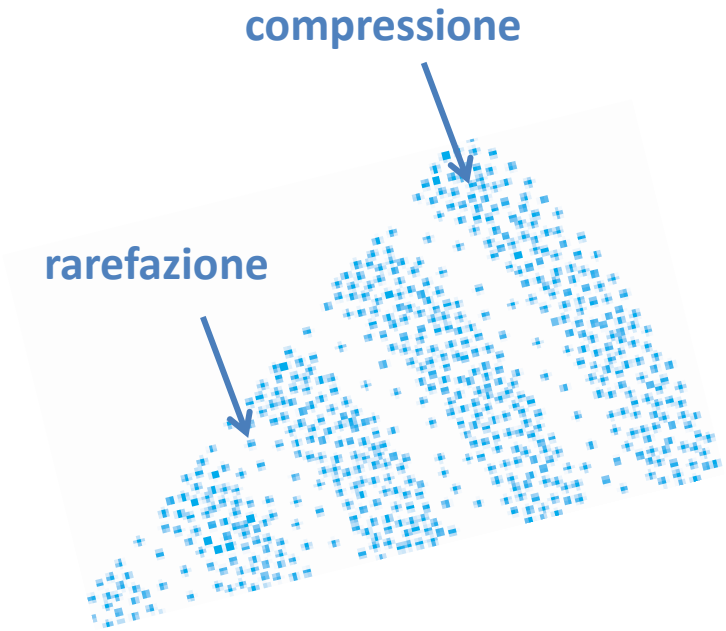
Effetto Doppler

L'effetto Doppler si manifesta quando le onde sonore sono generate da una sorgente in movimento.

Es. sirena di una auto in movimento: - quando **auto si muove verso il ricevitore** il suono è più acuto (**suono alto percepito con frequenza più alta**) rispetto a quando auto ferma o a quando si allontana dal ricevitore.

Sorgente sonora in movimento

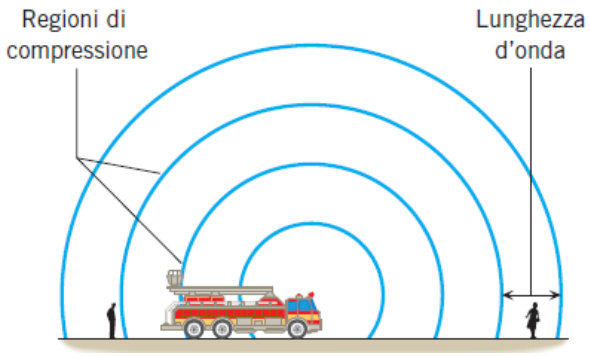




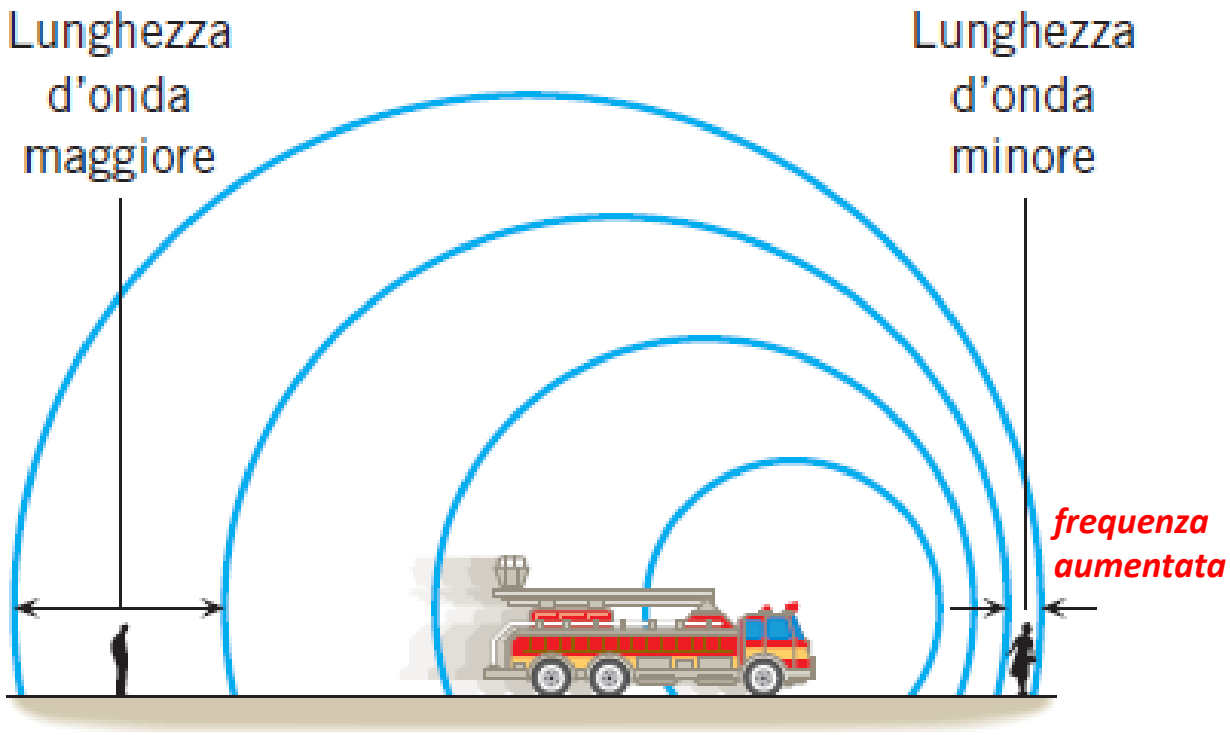
Vettura con sirena è <u>ferma</u>
Ricevitore è <u>fermo</u>

Ad es. quando auto con sirena si avvicina a noi (al ricevitore)
le onde vengono compresse nella nostra direzione.

Sorgente sonora in movimento



Vettura con sirena è ferma

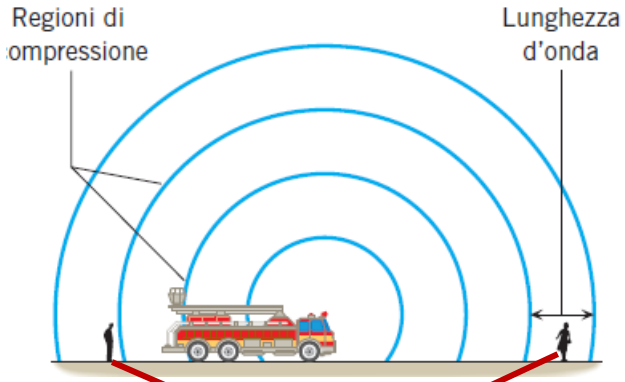


Vettura con sirena in moto

Ad es. *quando auto con sirena si avvicina a noi,* ***le onde vengono compresse nella nostra direzione,*** *ovvero intervallo di tempo fra due onde successive diminuisce e quindi* ***il numero di onde che riceviamo in un secondo aumenta (la frequenza aumenta)*** .

Sorgente sonora in movimento

Sorgente e ricevitori fermi



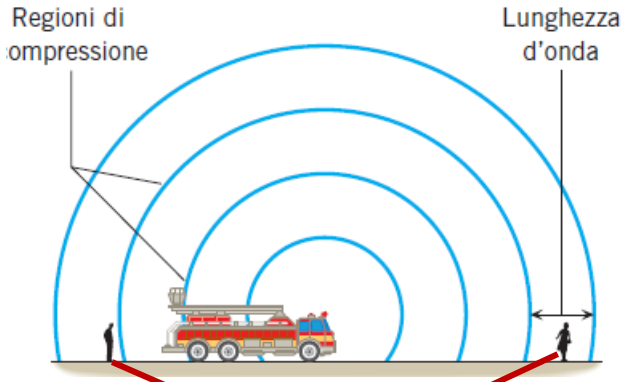
ricevitore dietro auto **percepiscono** ricevitore davanti auto

stessa frequenza

- **Se sorgente sonora e ricevitori** (davanti e dietro ad auto) **sono fermi,** allora essi riceveranno lo stesso numero di compressioni al secondo e quindi percepiscono **suoni che hanno la stessa frequenza.**

Sorgente sonora in movimento

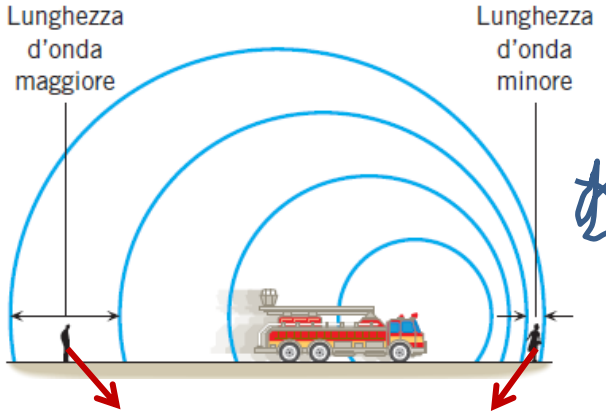
Sorgente e ricevitori fermi



ricevitore dietro auto **percepiscono** ricevitore davanti auto

stessa frequenza

Sorgente si muove



frequenza minore segnale GRAVE

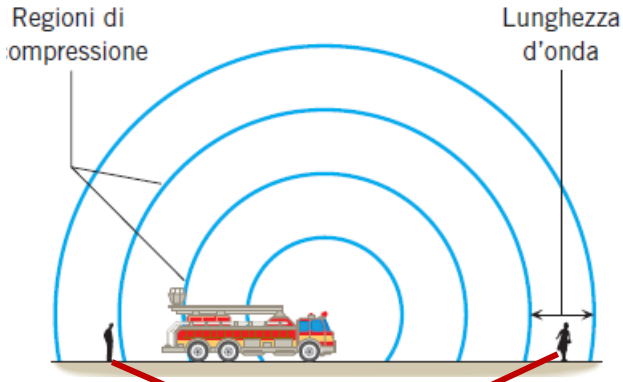
frequenza maggiore segnale ACUTO

-Quando **sorgente sonora si muove, le compressioni davanti risultano più vicine fra loro,** e quindi diminuzione di lunghezza d'onda.

Questo addensamento dipende dal fatto **che prima di emettere la compressione successiva la sorgente si è spostata in avanti rispetto alla compressione precedente.**

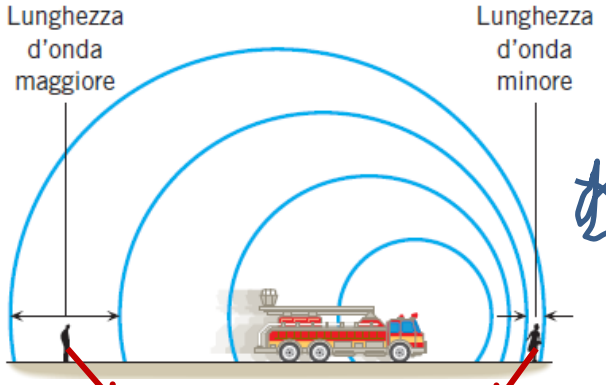
Sorgente sonora in movimento

Sorgente e ricevitori fermi



ricevitore dietro auto — **percepiscono stessa frequenza** — ricevitore davanti auto

Sorgente si muove



frequenza minore segnale GRAVE

frequenza maggiore segnale ACUTO

-Quando **sorgente sonora si muove, le compressioni davanti risultano più vicine fra loro,** e quindi diminuzione di lunghezza d'onda.

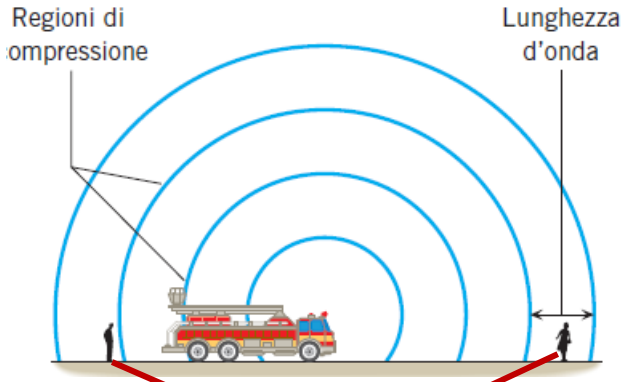
Questo addensamento dipende dal fatto **che prima di emettere la compressione successiva la sorgente si è spostata in avanti rispetto alla compressione precedente.**

Il ricevitore che si trova davanti riceve un numero di compressioni maggiore al secondo rispetto alla situazione in cui la sorgente è ferma. Quindi questo ricevitore percepisce → **frequenza maggiore**

→ **segnale più acuto**

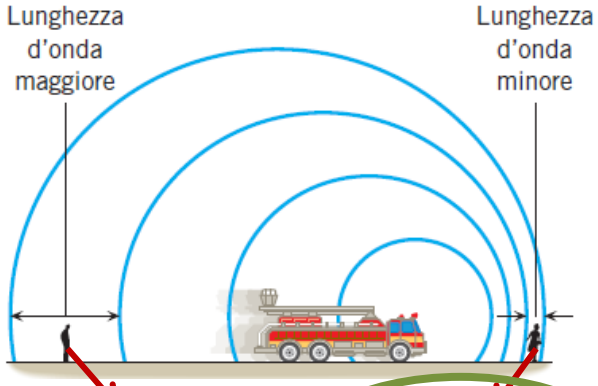
Sorgente sonora in movimento

Sorgente e ricevitori fermi



ricevitore dietro auto — **percepiscono stessa frequenza** — ricevitore davanti auto

Sorgente si muove



frequenza minore segnale GRAVE

frequenza maggiore segnale ACUTO

-Quando **sorgente sonora si muove**, le compressioni davanti risultano più vicine fra loro, e quindi diminuzione di lunghezza d'onda.

Questo addensamento dipende dal fatto **che prima di emettere la compressione successiva la sorgente si è spostata in avanti rispetto alla compressione precedente.**

Il ricevitore che si trova davanti riceve un numero di compressioni maggiore al secondo rispetto alla situazione in cui la sorgente è ferma. **Quindi questo ricevitore percepisce frequenza maggiore (segnale più acuto).**

EFFETTO DOPPLER

Effetto Doppler in acustica descrive **cambiamento nella frequenza di un suono percepito dall'osservatore** quando la sorgente sonora si muove rispetto all'osservatore.

Se la **sorgente** di suono si **avvicina** all'orecchio dell'osservatore, le onde che raggiungono l'orecchio si susseguono con **maggior frequenza e quindi si percepisce un suono più alto (più acuto)**.

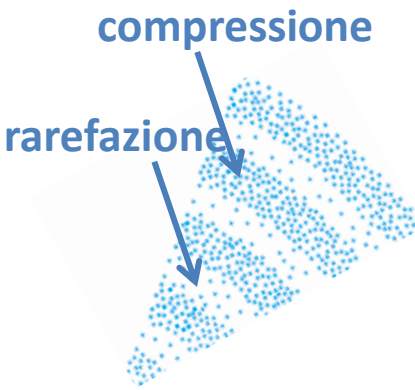
L'altezza del suono percepito rispetto a quello emesso aumenta quanto **più** la sorgente si muove **più velocemente verso l'osservatore**.



Al contrario quando la sorgente si allontana dall' osservatore il suono è percepito più basso.

Effetto Doppler

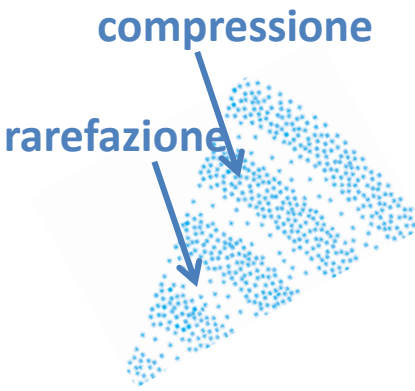
Sorgente ferma e osservatore fermo



Per auto con sirena ferma, una compressione si ha al tempo t=0 e poi al tempo t = T (T, periodo dell'onda) e la distanza fra due compressioni è la lunghezza d'onda λ .

Effetto Doppler

Sorgente ferma e osservatore fermo



Per auto con sirena ferma, una compressione si ha al tempo t=0 e poi al tempo t = T (T, periodo dell'onda) e la distanza fra due compressioni è la lunghezza d'onda λ .

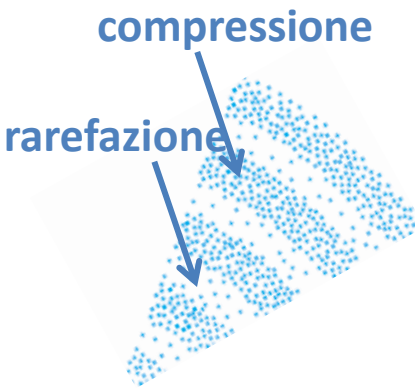
Sorgente in moto verso osservatore fermo

Auto con sirena si muove a velocità v_s verso ricevitore fermo, e la sirena emette compressione al tempo t=0 e poi t= T.

Ma prima di emettere la seconda compressione l'auto si è spostata di un tratto ℓ pari a: $\ell = v_s \cdot T$

Effetto Doppler

Sorgente ferma e osservatore fermo



Per auto con sirena ferma, una compressione si ha al tempo t=0 e poi al tempo t = T (T, periodo dell'onda) e la distanza fra due compressioni è la lunghezza d'onda λ .

Sorgente in moto verso osservatore fermo

Auto con sirena si muove a velocità v_s verso ricevitore fermo, e la sirena emette compressione al tempo t=0 e poi t= T.

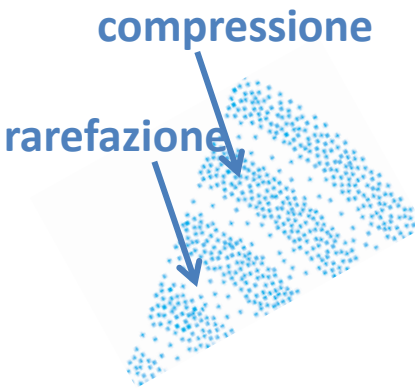
Ma prima di emettere la seconda compressione l'auto si è spostata di un tratto pari a: $\ell = v_s \cdot T$

Quindi la distanza fra due compressioni non è più pari alla lunghezza d'onda λ ma pari a λ' (con $\lambda' < \lambda$ $\lambda' = \lambda - \ell$)

$$\lambda' = \lambda - v_s \cdot T$$

Effetto Doppler

Sorgente ferma e osservatore fermo



Per auto con sirena ferma, una compressione si ha al tempo t=0 e poi al tempo t = T (T, periodo dell'onda) e la distanza fra due compressioni è la lunghezza d'onda λ .

Sorgente in moto verso osservatore fermo

Auto con sirena si muove a velocità v_s verso ricevitore fermo, e la sirena emette compressione al tempo t=0 e poi t= T.

Ma prima di emettere la seconda compressione l'auto si è spostata di un tratto pari a: $\ell = v_s \cdot T$

Quindi la distanza fra due compressioni non è più pari alla lunghezza d'onda λ ma pari a λ' (con $\lambda' < \lambda$ $\lambda' = \lambda - \ell$)

$\lambda' = \lambda - v_s \cdot T$

La lunghezza d'onda all'osservatore è minore della lunghezza d'onda emessa in funzione della velocità della sorgente v_s

Effetto Doppler

Sorgente in moto verso un osservatore fermo

la distanza fra due compressioni non è più pari alla lunghezza d'onda λ ma pari a λ' (con $\lambda' < \lambda$ $\lambda' = \lambda - \ell$)

$\lambda' = \lambda - v_s \cdot T$

La lunghezza d'onda all'osservatore è minore della lunghezza d'onda emessa in funzione della velocità della sorgente v_s

- Cambia la **frequenza percepita dal ricevitore**, che nel caso di sirena **ferma** era: $f = \frac{v}{\lambda}$
- Nel caso di sirena che **si muove** verso il ricevitore, **la frequenza percepita diventa**: $f_r = \frac{v}{\lambda'} = \frac{v}{\lambda - v_s \cdot T}$

Effetto Doppler

Sorgente in moto verso un osservatore fermo

la distanza fra due compressioni non è più pari alla lunghezza d'onda λ ma pari a λ' (con $\lambda' < \lambda$ $\quad \lambda' = \lambda - \ell$)

$\lambda' = \lambda - v_s \cdot T$

La lunghezza d'onda all'osservatore è minore della lunghezza d'onda emessa in funzione della velocità della sorgente v_s

- Cambia la **frequenza percepita dal ricevitore**, che nel caso di sirena **ferma** era: $f = \frac{v}{\lambda}$
- Nel caso di sirena che **si muove** verso il ricevitore, **la frequenza percepita diventa**: $f_r = \frac{v}{\lambda'} = \frac{v}{\lambda - v_s \cdot T}$

quindi la frequenza percepita dal ricevitore è : ??

maggiore o minore ??

Effetto Doppler

Sorgente in moto verso un osservatore fermo

la distanza fra due compressioni non è più pari alla lunghezza d'onda λ ma pari a λ' (con $\lambda' < \lambda$ $\lambda' = \lambda - \ell$)

$\lambda' = \lambda - v_s \cdot T$

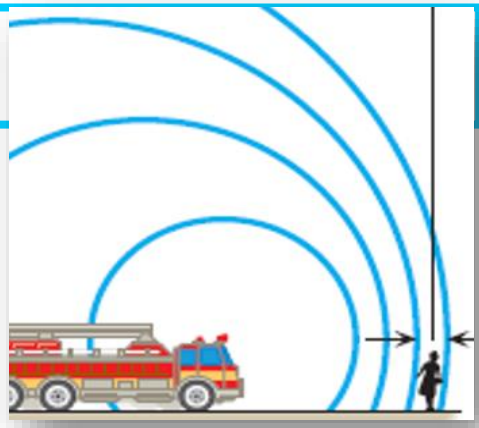
La lunghezza d'onda all'osservatore è minore della lunghezza d'onda emessa in funzione della velocità della sorgente v_s

- Cambia la **frequenza percepita dal ricevitore**, che nel caso di sirena **ferma** era: $f = \frac{v}{\lambda}$
- Nel caso di sirena che **si muove** verso il ricevitore, **la frequenza percepita diventa**: $f_r = \frac{v}{\lambda'} = \frac{v}{\lambda - v_s \cdot T}$

quindi la frequenza percepita dal ricevitore è : ??

maggiore o minore ??

Effetto Doppler



Frequenza percepita da ricevitore fermo per sorgente che si muove verso di lui

$$f_r = \frac{v}{\lambda'} = \frac{v}{\lambda - v_s T}$$

f_r = *frequenza percepita dal ricevitore*

f_s = *frequenza emessa dalla sorgente*

$$f_r = f_s \frac{1}{1 - \frac{v_s}{v}}$$

velocità della sorgente

Il termine $1 - \frac{v_s}{v}$ *è* < 1 *quindi questa frequenza* f_r *e' **maggiore** della frequenza* f_s *del suono emesso dalla sorgente*

frequenza percepita è maggiore

Effetto Doppler

Frequenza percepita da ricevitore fermo per sorgente che si muove verso di lui

$$f_r = \frac{v}{\lambda'} = \frac{v}{\lambda - v_s T}$$

$\lambda = v / f_s \rightarrow v = \lambda f_s$

λ= *lunghezza d'onda emessa*

$T = 1/ f_s$

f_r = *frequenza percepita dal ricevitore*

f_s = *frequenza emessa dalla sorgente*

$$f_r = \frac{v}{\frac{v}{f_s} - \frac{v_s}{f_s}}$$

$$f_r = f_s \frac{v}{v - v_s}$$

$$f_r = f_s \frac{1}{1 - \frac{v_s}{v}}$$

Ricordando $v = \lambda / T \rightarrow v = \lambda f$

Effetto Doppler

Frequenza percepita da ricevitore fermo per sorgente che si muove verso di lui

$$f_r = \frac{v}{\lambda'} = \frac{v}{\lambda - v_s T}$$

f_r = *frequenza percepita dal ricevitore*

f_s = *frequenza emessa dalla sorgente*

$\lambda = v / f_s \rightarrow v = \lambda f_s$

λ= *lunghezza d'onda emessa*

$T = 1/ f_s$

Ricordando $v = \lambda / T \rightarrow v = \lambda f$

$$f_r = f_s \frac{1}{1 - \frac{v_s}{v}}$$

Il termine $1 - \frac{v_s}{v}$ ***è < 1***

*quindi questa frequenza e' **maggiore** della frequenza* f_s *del suono emesso dalla sorgente*

La sirena di una auto della polizia emette un suono a 1600 Hz. Quale frequenza percepisce un osservatore fermo quando la auto della polizia si muove a 25 m/s verso l'osservatore

La sirena di una auto della polizia emette un suono a 1600 Hz. Quale frequenza percepisce un osservatore fermo quando la auto della polizia si muove a 25 m/s verso l'osservatore

$$f_r = f_s \frac{1}{1 - \frac{v_s}{v}}$$

v velocità suono in aria

v = 343 m/s

v_s, velocità della sorgente che emette suono

La sirena di una auto della polizia emette un suono a 1600 Hz. Quale frequenza percepisce un osservatore fermo quando la auto della polizia si muove a 25 m/s verso l'osservatore

f_r = *frequenza percepita dal ricevitore*

f_s = *frequenza emessa dalla sorgente*

$$f_r = f_s \frac{1}{1 - \frac{v_s}{v}}$$

v velocità suono in aria

v = 343 m/s

v_s, velocità della sorgente che emette suono

$$f_r = 1600\ \text{Hz} \frac{1}{1 - \frac{25\text{m/s}}{343\ \text{m/s}}}$$

La sirena di una auto della polizia emette un suono a 1600 Hz. Quale frequenza percepisce un osservatore fermo quando la auto della polizia si muove a 25 m/s verso l'osservatore

f_r = *frequenza percepita dal ricevitore*

f_s = *frequenza emessa dalla sorgente*

$$f_r = f_s \frac{1}{1 - \frac{v_s}{v}}$$

v velocità suono in aria

v = 343 m/s

v_s, velocità della sorgente che emette suono

$$f_r = 1600\ \text{Hz} \frac{1}{1 - \frac{25\ \text{m/s}}{343\ \text{m/s}}} = 1600\ \text{Hz} \frac{1}{\frac{343 - 25}{343}}$$

$$f_r = 1600\ \text{Hz} \frac{343\ \text{m/s}}{318\ \text{m/s}} = 1726\ \text{Hz}$$

La sirena di una auto della polizia emette un suono a 1600 Hz. Quale frequenza percepisce un osservatore fermo quando la auto della polizia **si muove a 25 m/s verso l'osservatore**

f_r = *frequenza percepita dal ricevitore*

f_s = *frequenza emessa dalla sorgente*

$$f_r = f_s \frac{1}{1 - \frac{v_s}{v}}$$

v velocità suono in aria

v = 343 m/s

v_s, velocità della sorgente che emette suono

$$f_r = 1600\ \text{Hz} \frac{1}{1 - \frac{25\ \text{m/s}}{343\ \text{m/s}}} = 1600\ \text{Hz} \frac{1}{\frac{343 - 25}{343}}$$

$$f_r = 1600\ \text{Hz} \frac{343\ \text{m/s}}{318\ \text{m/s}} = 1726\ \text{Hz}$$

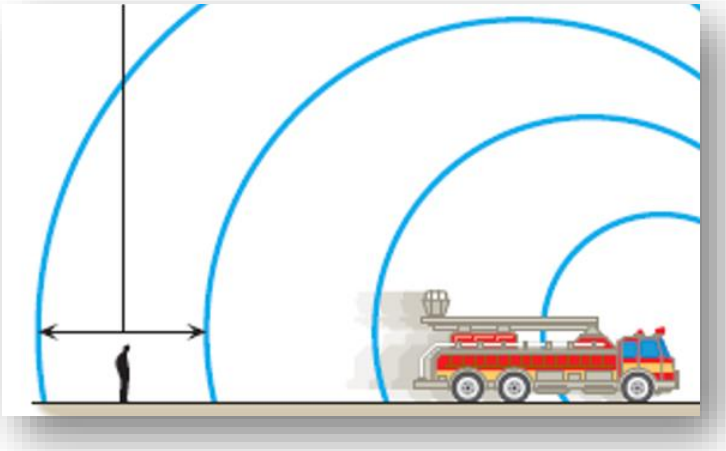
La sorgente si muove verso il ricevitore quindi la frequenza percepita dal ricevitore è maggiore della frequenza della sorgente.

Effetto Doppler

Sorgente che si allontana da un osservatore fermo

Sorgente che si allontana dal ricevitore, **la lunghezza d'onda fra due compressioni, λ' è maggiore di λ**

$$\lambda' = \lambda + v_s \cdot T$$

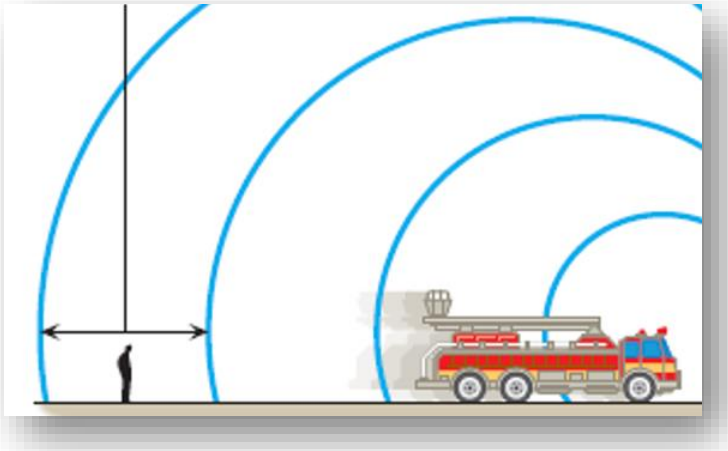


Effetto Doppler

*Sorgente che si **allontana** da un osservatore fermo*

Sorgente che si allontana dal ricevitore, **la lunghezza d'onda fra due compressioni, λ' è maggiore di λ**

$$\lambda' = \lambda + v_s \cdot T$$



La frequenza percepita dal ricevitore f_r

$$f_r = f_s \frac{1}{1 + \frac{v_s}{v}}$$

per sorgente che si avvicina

$$f_r = f_s \frac{1}{1 - \frac{v_s}{v}}$$

frequenza maggiore

*Frequenza percepita da ricevitore fermo per **sorgente che si allontana** da lui.*

Il termine $1 + \frac{v_s}{v}$ ***è > 1*** *quindi* ***questa frequenza è minore della frequenza f_s del suono emesso dalla sorgente***

La sirena di una auto della polizia emette un suono a 1600 Hz. Quale frequenza percepisce un osservatore fermo quando la auto della polizia si muove a **25 m/s allontanandosi dall'osservatore**.

$$f_r = f_s \frac{1}{1 + \frac{v_s}{v}}$$

v, velocità suono in aria

v = 343 m/s

$$f_r = 1600\ \text{Hz} \frac{1}{1 + \frac{25\text{m/s}}{343\ \text{m/s}}} = 1600\ \text{Hz} \frac{343\ \text{m/s}}{368\ \text{m/s}} = 1491\ \text{Hz}$$

La sorgente si muove allontanandosi dal ricevitore quindi la frequenza percepita dal ricevitore è minore della frequenza della sorgente.

Percezione del suono per effetto Doppler

Es. sirena dell'ambulanza.

frequenza maggiore

Mentre l'ambulanza si **avvicina** all'osservatore, questo percepisce una tonalità costante e **più alta del suono effettivo emesso**.

Quando **l'ambulanza raggiunge l'osservatore** **la tonalità è pari a quella emessa.**

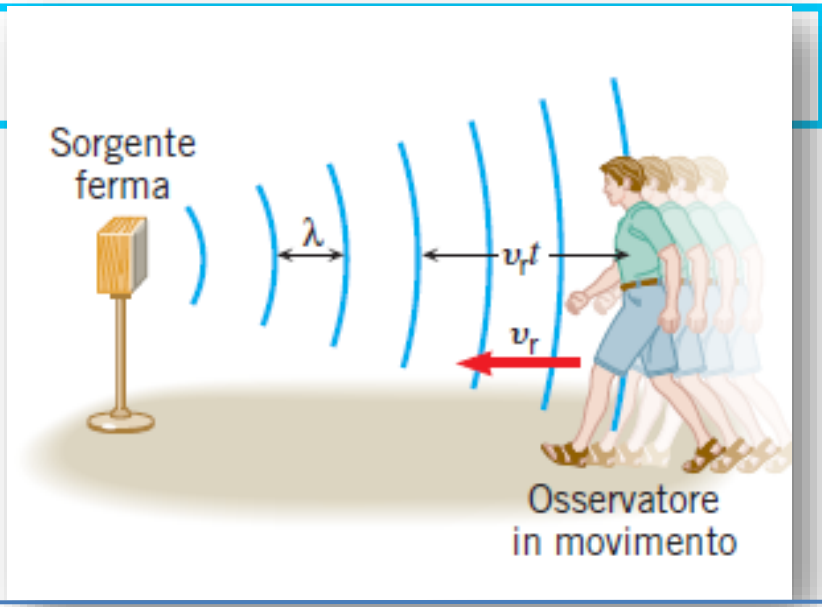
Quando l'ambulanza avrà sorpassato l'osservatore e si **allontana**, allora questo è raggiunto solo da onde acustiche con **tonalità più bassa di quella del suono effettivo.**

frequenza minore

Effetto Doppler

Osservatore in movimento e sorgente ferma

Osservatore che si avvicina alla sorgente



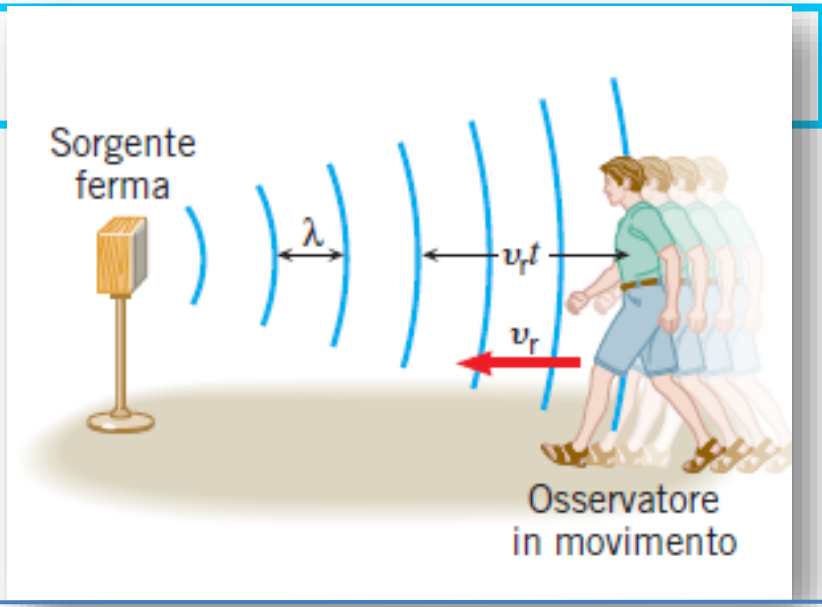
Il ricevitore si muove a velocità $\mathbf{v_r}$ e quindi in un tempo **t** percorre una distanza $\mathbf{v_r\, t}$

Nel tempo t incontra un **numero maggiore di regioni di compressione** rispetto al caso in cui il ricevitore stesso fosse stato fermo.

Effetto Doppler

Osservatore in movimento e sorgente ferma

Osservatore che si avvicina alla sorgente



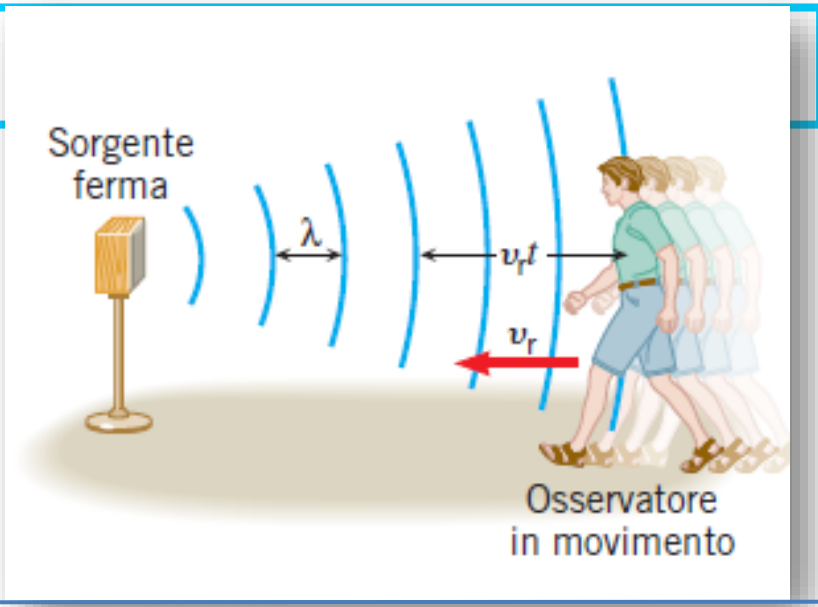
Il numero di zone di compressione in aggiunta è dato dal rapporto fra la distanza percorsa **($v_r t$)** e la distanza λ tra due regioni di compressione successive. Quindi **in un secondo si aggiungono v_r/λ regioni** di compressione. Il ricevitore in moto sente un suono con frequenza fr :

$$fr = fs + \frac{v_r}{\lambda}$$

Effetto Doppler

Osservatore in movimento e sorgente ferma

Osservatore che si avvicina alla sorgente



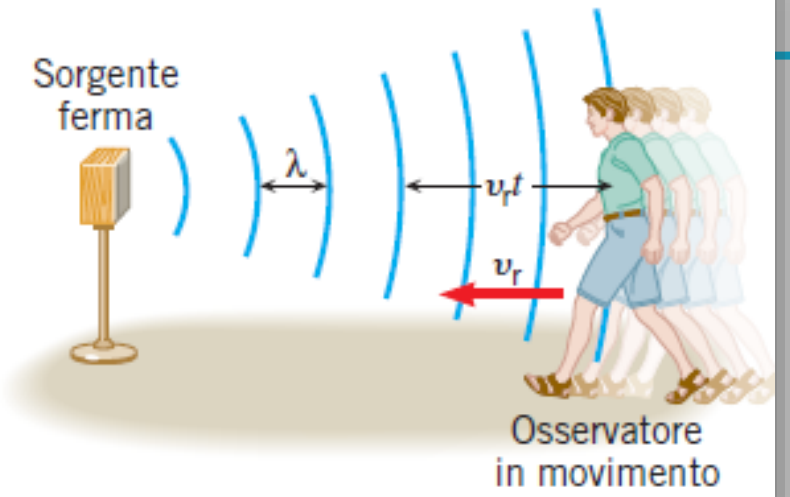
Il numero di zone di compressione in aggiunta è dato dal rapporto fra la distanza percorsa **($v_r t$)** e la distanza λ tra due regioni di compressione successive. Quindi in un secondo si aggiungono **v_r/λ** regioni di compressione. Il ricevitore in moto sente un suono con frequenza fr :

$$fr = fs + \frac{v_r}{\lambda} = fs\left(1 + \frac{v_r}{fs\,\lambda}\right)$$

Effetto Doppler

Osservatore in movimento e sorgente ferma

*Osservatore che si **avvicina** alla sorgente*

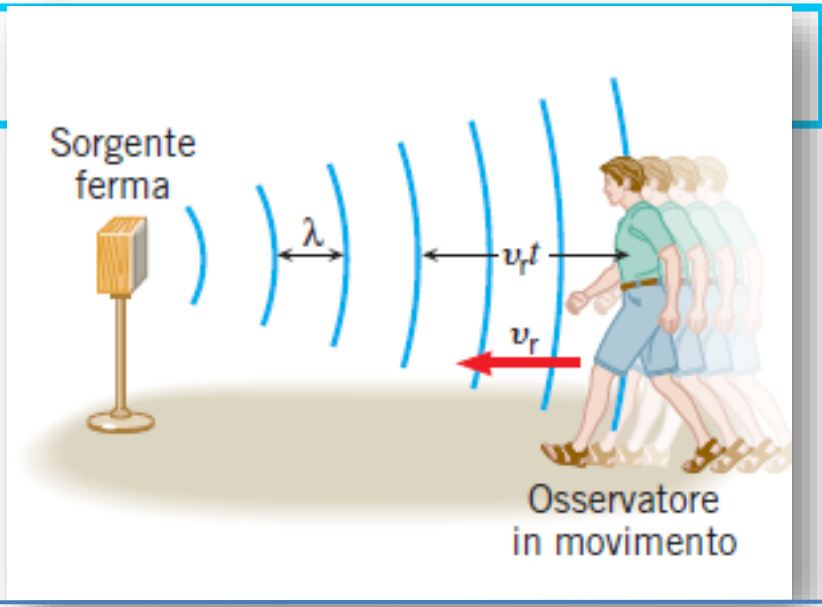


Il numero di zone di compressione in aggiunta è dato dal rapporto fra la distanza percorsa **($v_r t$)** e la distanza λ tra due regioni di compressione successive. Quindi in un secondo si aggiungono **v_r/λ** regioni di compressione. Il ricevitore in moto sente un suono con frequenza fr :

$$fr = fs + \frac{v_r}{\lambda} = fs\left(1 + \frac{v_r}{fs\,\lambda}\right) \qquad f_r = f_s\left(1 + \frac{v_r}{v}\right)$$

$(\lambda = v / f_s)$

Effetto Doppler



Osservatore in movimento e sorgente ferma

*Osservatore che si **avvicina** alla sorgente*

$$fr = fs + \frac{v_r}{\lambda} = fs\left(1 + \frac{v_r}{fs\,\lambda}\right)$$

f_r = *frequenza percepita dal ricevitore*
f_s = *frequenza emessa dalla sorgente*

$$f_r = f_s \left(1 + \frac{v_r}{v} \right)$$

Osservatore che si avvicina alla sorgente, sente una frequenza maggiore

Effetto Doppler

Osservatore in movimento e sorgente ferma

*Osservatore che **si allontana dalla sorgente***

Tale osservatore incontra un numero minore di regioni di compressione rispetto a quelle che incontrerebbe se restasse fermo

$$f_r = f_s \left(1 - \frac{v_r}{v} \right)$$

Osservatore che <u>si allontana</u> dalla sorgente, sente una frequenza minore

Effetto Doppler RIASSUMENDO

Effetto Doppler per una sorgente in movimento

$$f_r = f_s \frac{1}{1 \mp \frac{v_s}{v}}$$

v_s è la velocità della sorgente sonora

Sorgente s che si avvicina al ricevitore r. Considera il segno meno. La **frequenza percepita dal ricevitore f_r è maggiore** della frequenza della sorgente f_s

Sorgente s che si allontana dal ricevitore r. Considera il segno più. La **frequenza percepita dal ricevitore f_r è minore** della frequenza della sorgente f_s

Effetto Doppler

Effetto Doppler per un ricevitore in movimento

$$f_r = f_s \left(1 \pm \frac{v_r}{v} \right)$$

v_r è la velocità ricevitore/osservatore

Ricevitore r che si avvicina alla sorgente s. Considera il segno più. Il ricevitore sente una frequenza f_r **maggiore.**

Ricevitore r che si allontana dalla sorgente s. Considera il segno meno. Il ricevitore sente una frequenza f_r **minore**.

Effetto Doppler

Effetto Doppler per una sorgente in movimento

$$f_r = f_s \frac{1}{1 \mp \frac{v_s}{v}}$$

v_s è la velocità della sorgente sonora

Sorgente s che si **avvicina** al ricevitore r. Considera il segno **meno**. La frequenza percepita dal ricevitore f_r **è maggiore** della frequenza della sorgente f_s

Sorgente s che si **allontana** dal ricevitore r. Considera il segno **più**. La frequenza percepita dal ricevitore f_r **è minore** della frequenza della sorgente f_s

Effetto Doppler per un ricevitore in movimento

$$f_r = f_s \left(1 \pm \frac{v_r}{v} \right)$$

v_r è la velocità ricevitore/osservatore

Ricevitore r che si **avvicina** alla sorgente s. Considera il segno **più.** Il ricevitore sente una frequenza f_r **è maggiore**.

Ricevitore r che si **allontana** dalla sorgente s. Considera il segno **meno**. Il ricevitore sente una frequenza f_r **è minore**.

Calcolare lo spostamento in frequenza quando la sorgente sonora di 2400 Hz si sta allontanando dal ricevitore alla velocità di 30 m/s. (velocità onda in aria 330 m/s)

Calcolare lo spostamento in frequenza quando la sorgente sonora di 2400 Hz si sta allontanando dal ricevitore alla velocità di 30 m/s. (velocità onda in aria 330 m/s)

$$f_r = f_s \frac{1}{1 + \frac{v_s}{v}}$$

f_r = *frequenza percepita dal ricevitore*

f_s = *frequenza emessa dalla sorgente*

v = *velocità propagazione onda*

v_s = *velocità sorgente*

Sorgente s che si **allontana** dal ricevitore r. Considera il segno **più**. La frequenza percepita dal ricevitore f_r **è minore** della frequenza della sorgente f_s

Calcolare lo spostamento in frequenza quando la sorgente sonora di 2400 Hz si sta allontanando dal ricevitore alla velocità di 30 m/s. (velocità onda in aria 330 m/s)

$$f_r = f_s \frac{1}{1 + \frac{v_s}{v}}$$

f_r = *frequenza percepita dal ricevitore*
f_s = *frequenza emessa dalla sorgente*
v = *velocità propagazione onda*
v_s = *velocità sorgente*

$$f_r = 2400\ \text{Hz} \frac{1}{1 + \frac{30\ \text{m/s}}{330\ \text{m/s}}} = 2400\ \text{Hz} \frac{330\ \text{m/s}}{360\ \text{m/s}} = 2200\ \text{Hz}$$

$\Delta f = 200$ Hz

Spostamento in frequenza → frequenza sorgente – frequenza percepita dal ricevitore
2400 Hz – 2200 Hz

Un treno viaggia a 161 km/h e il macchinista attiva un **fischio** di **frenata di frequenza 415 Hz.** Quali sono le frequenze e le lunghezze d'onda dei suoni percepiti da una persona ferma al passaggio a livello quando : **a)** il treno si sta avvicinando;
b) il treno si sta allontanando. (*la velocità del suono 343 m/s*)

Un treno viaggia a 161 km/h e il macchinista attiva un fischio di frenata di frequenza 415 Hz. Quali sono le frequenze e le lunghezze d'onda dei suoni percepiti da una persona ferma al passaggio a livello quando : **a)** il treno si sta avvicinando;
b) il treno si sta allontanando. (*la velocità del suono 343 m/s*)

Treno si avvicina al passaggio a livello

$$f_r = f_s \frac{1}{1 - \frac{v_s}{v}}$$

$$\lambda' = \frac{v}{f_r}$$

Treno si allontana dal passaggio a livello

$$f_r = f_s \frac{1}{1 + \frac{v_s}{v}}$$

$$\lambda' = \frac{v}{f_r}$$

Un treno viaggia a 161 km/h e il macchinista attiva un fischio di frenata di frequenza 415 Hz. Quali sono le frequenze e le lunghezze d'onda dei suoni percepiti da una persona ferma al passaggio a livello quando : **a)** il treno si sta avvicinando; **b)** il treno si sta allontanando. (*la velocità del suono 343 m/s*)

Treno si avvicina al passaggio a livello

$$f_r = f_s \frac{1}{1 - \frac{v_s}{v}} \qquad \lambda' = \frac{v}{f_r}$$

161 Km/h = 161 x $\mathbf{10^3}$ /**3.6 x 10^3** = 44.7 m/s

$$f_r = 415\ \text{Hz} \frac{1}{1 - \frac{44.7\ \text{m/s}}{343\ \text{m/s}}} = 415\ \text{Hz} \frac{343\ \text{m/s}}{298{,}3\ \text{m/s}} = 477\ \text{Hz}$$

Treno si allontana dal passaggio a livello

$$f_r = f_s \frac{1}{1 + \frac{v_s}{v}} \qquad \lambda' = \frac{v}{f_r}$$

Un treno viaggia a 161 km/h e il macchinista attiva un fischio di frenata di frequenza 415 Hz. Quali sono le frequenze e le lunghezze d'onda dei suoni percepiti da una persona ferma al passaggio a livello quando : **a)** il treno si sta avvicinando; **b)** il treno si sta allontanando. (*la velocità del suono 343 m/s*)

Treno si avvicina al passaggio a livello

$$f_r = f_s \frac{1}{1 - \frac{v_s}{v}} \qquad \lambda' = \frac{v}{f_r}$$

161 Km/h = 161 x **10^3** /**3.6 x 10^3** = 44.7 m/s

$$f_r = 415\ \text{Hz} \frac{1}{1 - \frac{44.7\ \text{m/s}}{343\ \text{m/s}}} = 415\ \text{Hz} \frac{343\ \text{m/s}}{298{,}3\ \text{m/s}} = 477\ \text{Hz}$$

$$\lambda' = \frac{343\ \text{m/s}}{477\ \text{Hz}} = 0.719\ \text{m}$$

Treno si allontana dal passaggio a livello

$$f_r = f_s \frac{1}{1 + \frac{v_s}{v}} \qquad \lambda' = \frac{v}{f_r}$$

Un treno viaggia a 161 km/h e il macchinista attiva un fischio di frenata di frequenza 415 Hz. Quali sono le frequenze e le lunghezze d'onda dei suoni percepiti da una persona ferma al passaggio a livello quando : **a)** il treno si sta avvicinando; **b)** il treno si sta allontanando. (*la velocità del suono 343 m/s*)

Treno si avvicina al passaggio a livello

$$f_r = f_s \frac{1}{1 - \frac{v_s}{v}} \qquad \lambda' = \frac{v}{f_r}$$

161 Km/h = 161 x 10^3 /3.6×10^3 = 44.7 m/s

$$f_r = 415\ \text{Hz} \frac{1}{1 - \frac{44.7\ \text{m/s}}{343\ \text{m/s}}} = 415\ \text{Hz} \frac{343\ \text{m/s}}{298{,}3\ \text{m/s}} = 477\ \text{Hz}$$

$$\lambda' = \frac{343\ \text{m/s}}{477\ \text{Hz}} = 0.719\ \text{m}$$

Treno si allontana dal passaggio a livello

$$f_r = f_s \frac{1}{1 + \frac{v_s}{v}} \qquad \lambda' = \frac{v}{f_r}$$

$$f_r = 415\ \text{Hz} \frac{1}{1 + \frac{44.7\ \text{m/s}}{343\ \text{m/s}}} = 415\ \text{Hz} \frac{343\ \text{m/s}}{387{,}7\ \text{m/s}} = 367\ \text{Hz}$$

Un treno viaggia a 161 km/h e il macchinista attiva un fischio di frenata di frequenza 415 Hz. Quali sono le frequenze e le lunghezze d'onda dei suoni percepiti da una persona ferma al passaggio a livello quando : **a)** il treno si sta avvicinando; **b)** il treno si sta allontanando. (*la velocità del suono 343 m/s*)

Treno si avvicina al passaggio a livello

$$f_r = f_s \frac{1}{1 - \frac{v_s}{v}} \qquad \lambda' = \frac{v}{f_r}$$

161 Km/h = 161 x 10^3 / 3.6×10^3 = 44.7 m/s

$$f_r = 415\ \text{Hz} \frac{1}{1 - \frac{44.7\ \text{m/s}}{343\ \text{m/s}}} = 415\ \text{Hz} \frac{343\ \text{m/s}}{298{,}3\ \text{m/s}} = 477\ \text{Hz}$$

$$\lambda' = \frac{343\ \text{m/s}}{477\ \text{Hz}} = 0.719\ \text{m}$$

Treno si allontana dal passaggio a livello

$$f_r = f_s \frac{1}{1 + \frac{v_s}{v}} \qquad \lambda' = \frac{v}{f_r}$$

$$f_r = 415\ \text{Hz} \frac{1}{1 + \frac{44.7\ \text{m/s}}{343\ \text{m/s}}} = 415\ \text{Hz} \frac{343\ \text{m/s}}{387{,}7\ \text{m/s}} = 367\ \text{Hz}$$

$$\lambda' = \frac{343\ \text{m/s}}{367\ \text{Hz}} = 0.935\ \text{m}$$

Un treno viaggia a 161 km/h e il macchinista attiva un fischio di frenata di frequenza 415 Hz. Quali sono le frequenze e le lunghezze d'onda dei suoni percepiti da una persona ferma al passaggio a livello quando : **a)** il treno si sta avvicinando; **b)** il treno si sta allontanando. (*la velocità del suono 343 m/s*)

Treno si avvicina al passaggio a livello

$$f_r = f_s \frac{1}{1 - \frac{v_s}{v}} \qquad \lambda' = \frac{v}{f_r}$$

161 Km/h = 161 x 10^3 /3.6×10^3 = 44.7 m/s

$$f_r = 415\ \text{Hz} \frac{1}{1 - \frac{44.7\ \text{m/s}}{343\ \text{m/s}}} = 415\ \text{Hz} \frac{343\ \text{m/s}}{298{,}3\ \text{m/s}} = 477\ \text{Hz} \qquad \lambda' = \frac{343\ \text{m/s}}{477\ \text{Hz}} = 0.719\ \text{m}$$

frequenza cresce; lunghezza d'onda diminuisce

Treno si allontana dal passaggio a livello

$$f_r = f_s \frac{1}{1 + \frac{v_s}{v}} \qquad \lambda' = \frac{v}{f_r}$$

$$f_r = 415\ \text{Hz} \frac{1}{1 + \frac{44.7\ \text{m/s}}{343\ \text{m/s}}} = 415\ \text{Hz} \frac{343\ \text{m/s}}{387{,}7\ \text{m/s}} = 367\ \text{Hz} \qquad \lambda' = \frac{343\ \text{m/s}}{367\ \text{Hz}} = 0.935\ \text{m}$$

frequenza diminuisce; lunghezza d'onda cresce