

Università degli Studi di Milano
Facoltà di Medicina e Chirurgia

Corso di laurea

Tecniche Audiometriche – Tecniche Audioprotesiche

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.

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

I = ????

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

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 = ????

$10 \log 10^6 = 60$

$I = 10^{-6}$

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

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.

$$I = P / A$$

$P = E / \Delta t$

$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$

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

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

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/m^2

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

I = ????

$10 \log x = 60$

$x = 10^6$

x = ????

$10 \log 10^6 = 60$

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

$I = 10^{-6}$ W/m^2

$I = P / A$

$P = E / \Delta t$

1 W = 1 J/s

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

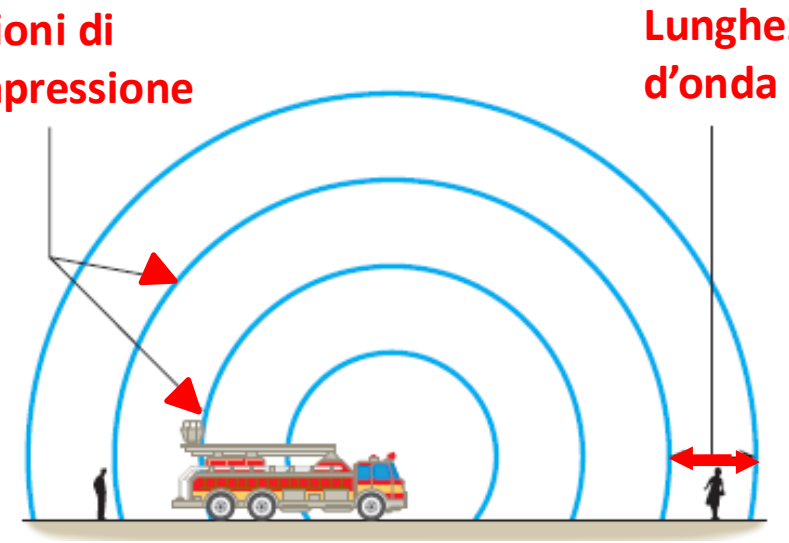
$E = 10^{-3}$ x 3.6 J = 0.0036 J

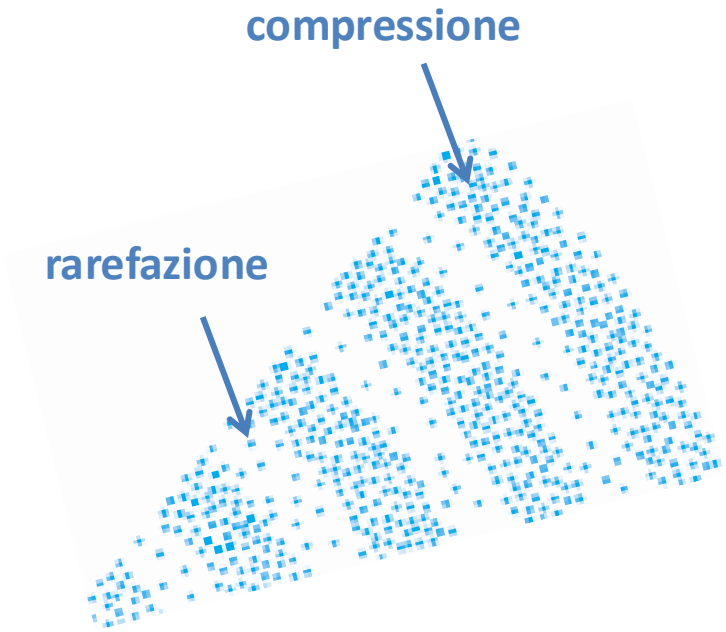
Effetto Doppler

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

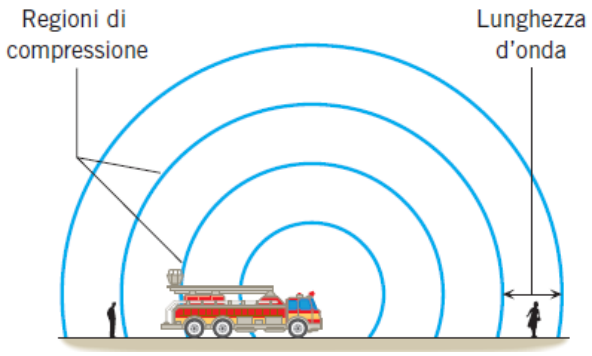




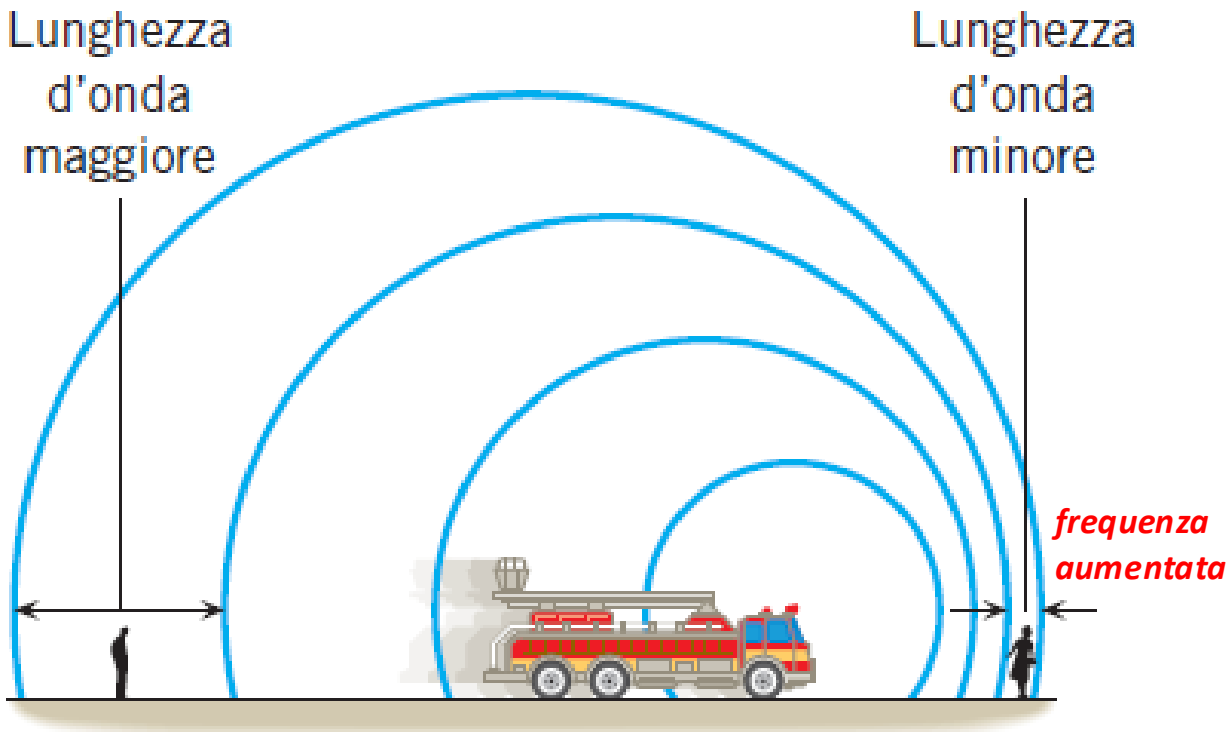
Vettura con sirena è <u>ferma</u>

Ad es. *quando auto con sirena si avvicina a noi,* ***le onde vengono compresse nella nostra direzione.***

Sorgente sonora in movimento



Vettura con sirena è ferma

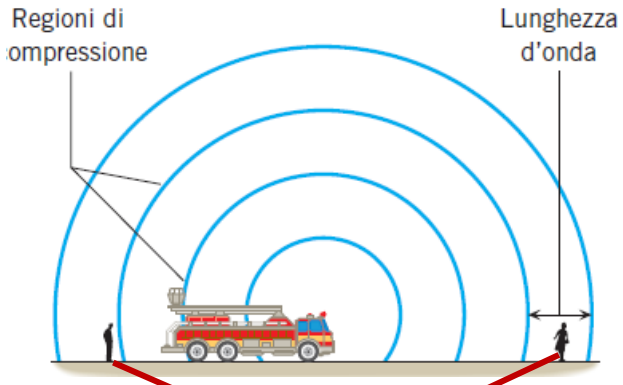


Vettura con sirena in moto

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



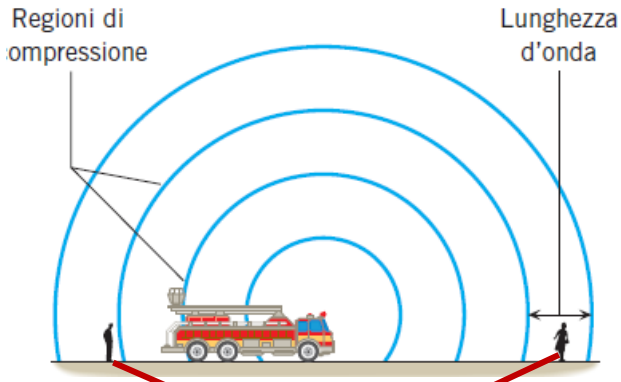
ricevitore dietro auto **percepiscono** ricevitore davanti auto

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

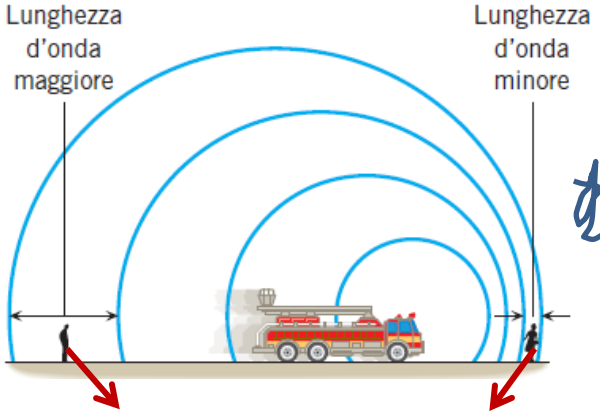
Sorgente e ricevitori fermi



ricevitore dietro auto **percepiscono** ricevitore davanti auto

stessa frequenza

Sorgente si muove



frequenza minore segnale GRAVE

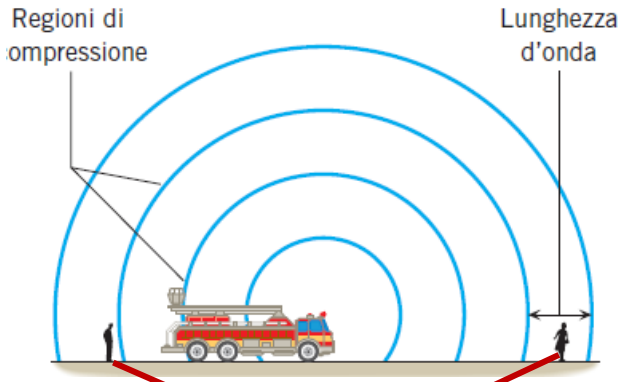
frequenza maggiore segnale ACUTO

-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

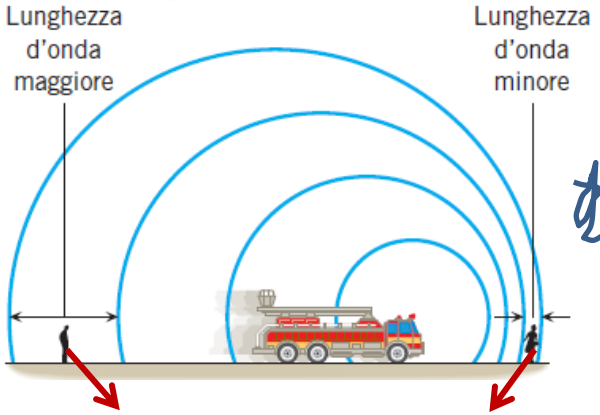
Sorgente e ricevitori fermi



ricevitore dietro auto **percepiscono** 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.

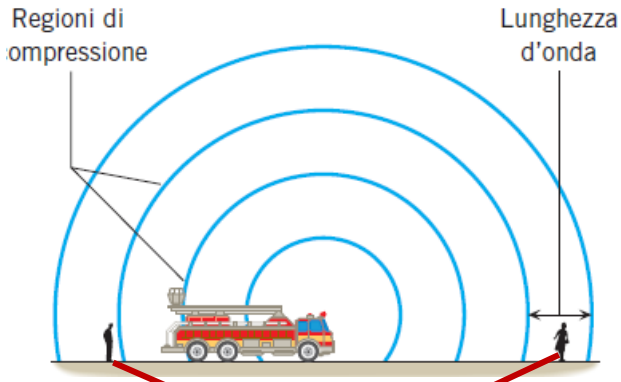
Questo addensamento dipende dal fatto **che prima di emettere la compressione successiva la sorgente si è spostata in avanti rispetto alla compressione precedente.**

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

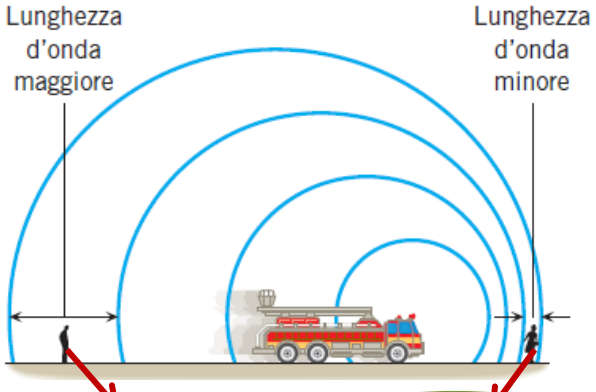
Sorgente e ricevitori fermi



ricevitore dietro auto **percepiscono** 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.**

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.

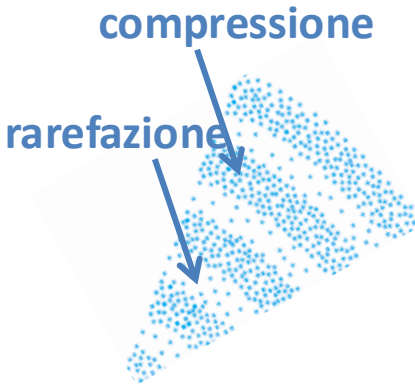
Se la **sorgente** di suono si **avvicina** all'orecchio dell'osservatore, le onde che raggiungono l'orecchio si susseguono con **maggior frequenza e quindi si percepisce un suono più alto (più acuto)**.

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

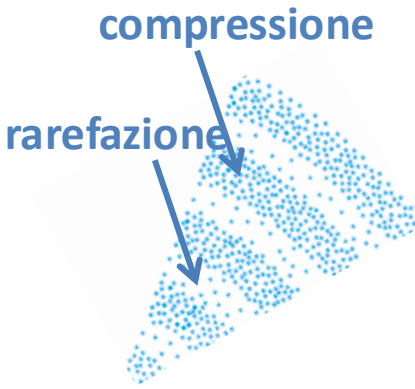
Sorgente ferma e osservatore fermo



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 .

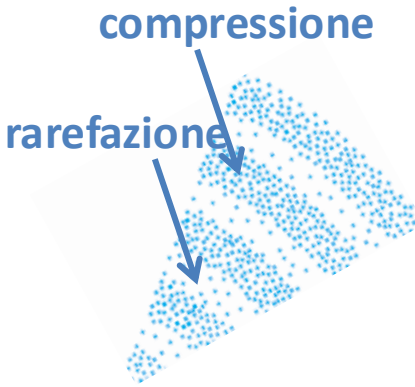
Sorgente in moto verso osservatore fermo

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 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.

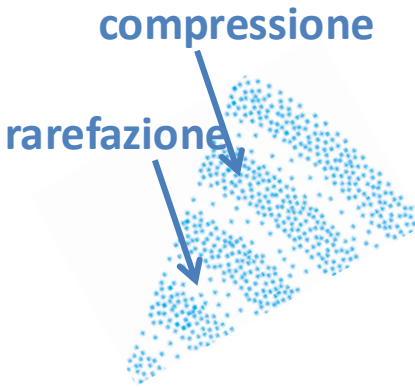
Ma prima di emettere la seconda compressione l'auto si è spostata di un tratto pari a: $\ell = v_s \cdot T$

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 $\lambda' < \lambda$ $\lambda' = \lambda - \ell$)

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

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

---

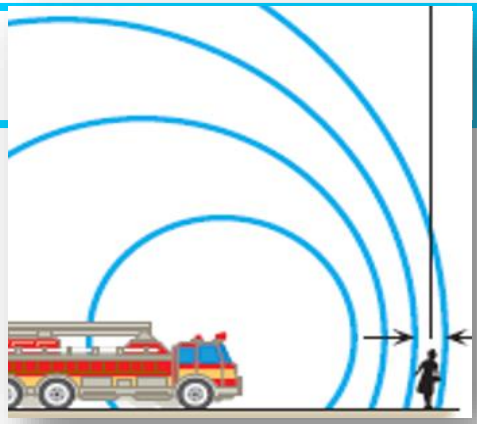
Cambia la **frequenza percepita dal ricevitore**, che nel caso di sirena **ferma** era: $f = \frac{v}{\lambda}$

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*

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

v, velocità suono in aria

v = 343 m/s

v_s, velocità della sorgente che emette suono

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

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

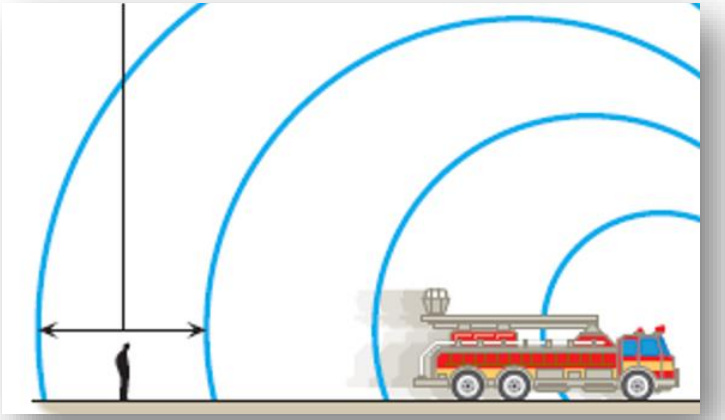
La sorgente si muove verso il ricevitore quindi la frequenza percepita dal ricevitore è maggiore della frequenza della sorgente.

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

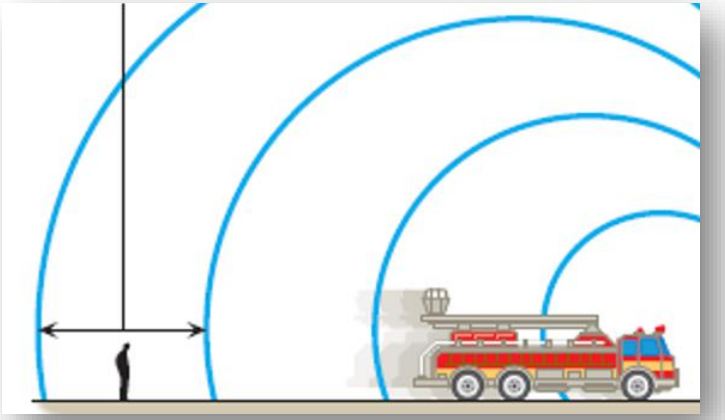
$$\lambda' = \lambda + v_s \cdot T$$



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

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

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.

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

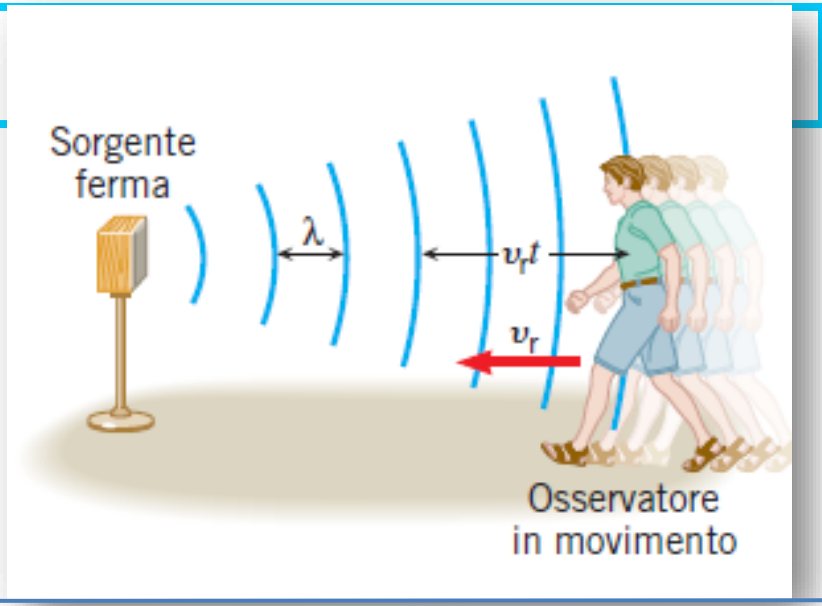
Quando **l'ambulanza raggiunge l'osservatore** **la tonalità è pari a quella emessa.**

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.**

Effetto Doppler

Osservatore in movimento e sorgente ferma

Osservatore che si avvicina alla sorgente



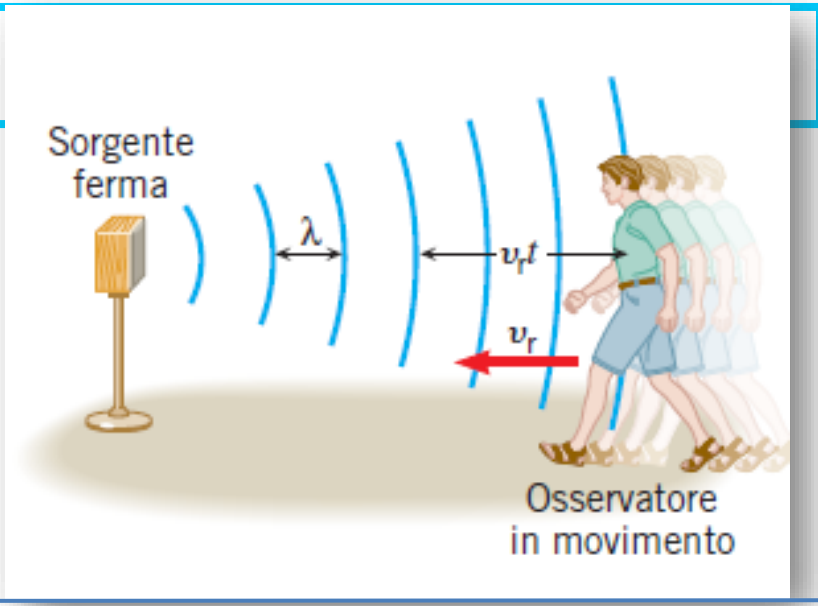
Il ricevitore si muove a velocità $\mathbf{v_r}$ e quindi in un tempo **t** percorre una distanza $\mathbf{v_r}$ **t.**

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



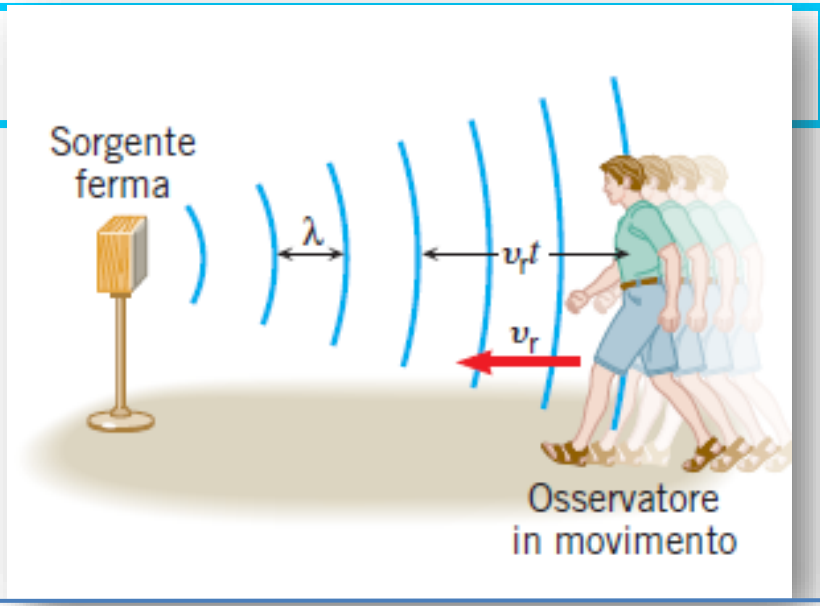
Il numero di zone di compressione in aggiunta è dato dal rapporto fra la distanza percorsa **($v_r t$)** e la distanza λ tra due regioni di compressione successive. Quindi **in un secondo si aggiungono v_r/λ regioni** di compressione. Il ricevitore in moto sente un suono con frequenza fr :

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

Effetto Doppler

Osservatore in movimento e sorgente ferma

Osservatore che si avvicina alla sorgente



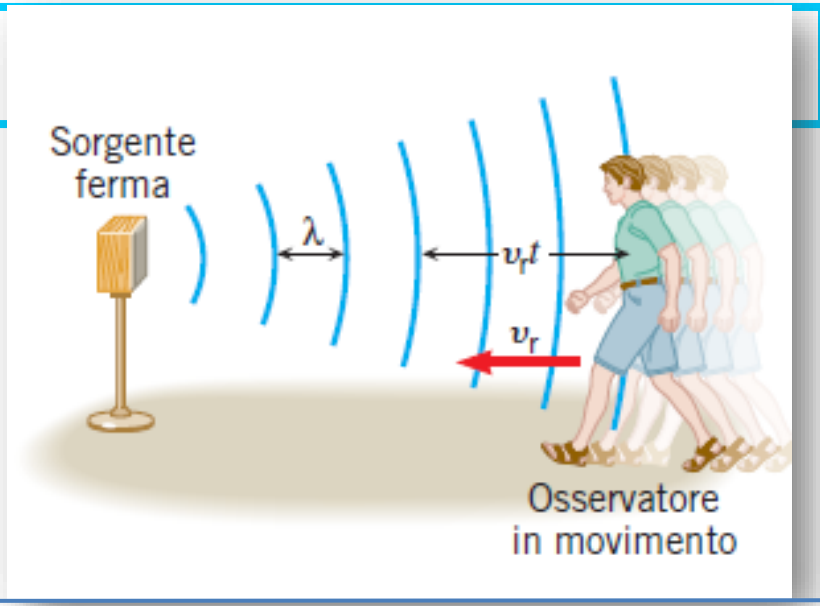
Il numero di zone di compressione in aggiunta è dato dal rapporto fra la distanza percorsa **($v_r t$)** e la distanza λ tra due regioni di compressione successive. Quindi in un secondo si aggiungono **v_r/λ** regioni di compressione. Il ricevitore in moto sente un suono con frequenza fr :

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

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 :

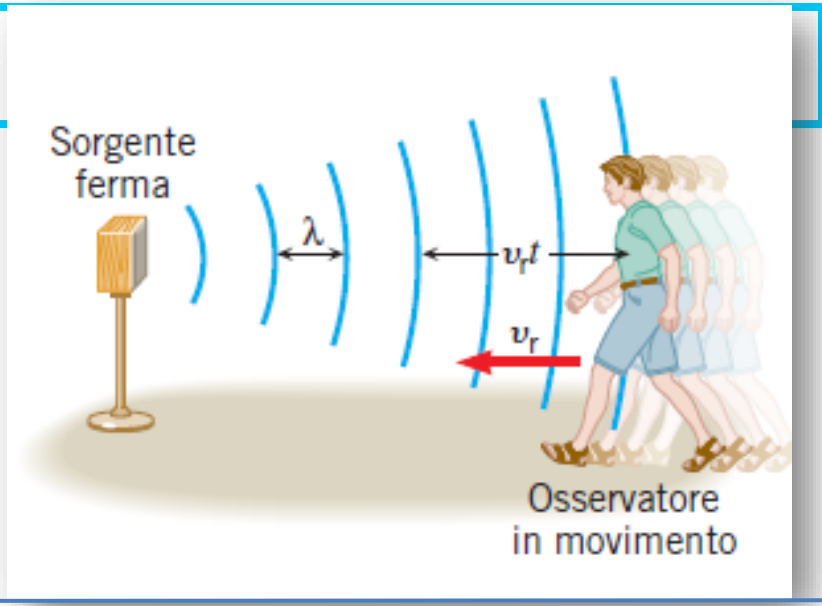
$$fr = fs + \frac{v_r}{\lambda} = fs\left(1 + \frac{v_r}{fs\,\lambda}\right) \qquad f_r = f_s\left(1 + \frac{v_r}{v}\right)$$

$(\lambda = v / f_s)$

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 <u>si avvicina</u> 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 si allontana 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 maggiore.

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

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

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

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

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

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

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

$161 \text{ Km/h} = 161 \times 10^3 / 3.6 \times 10^3 = 44.7 \text{ m/s}$

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

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

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

$161 \text{ Km/h} = 161 \times 10^3 / 3.6 \times 10^3 = 44.7 \text{ m/s}$

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

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

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 x 10^3 = 44.7 m/s

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

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