



# Acustica

## Parte 4

---

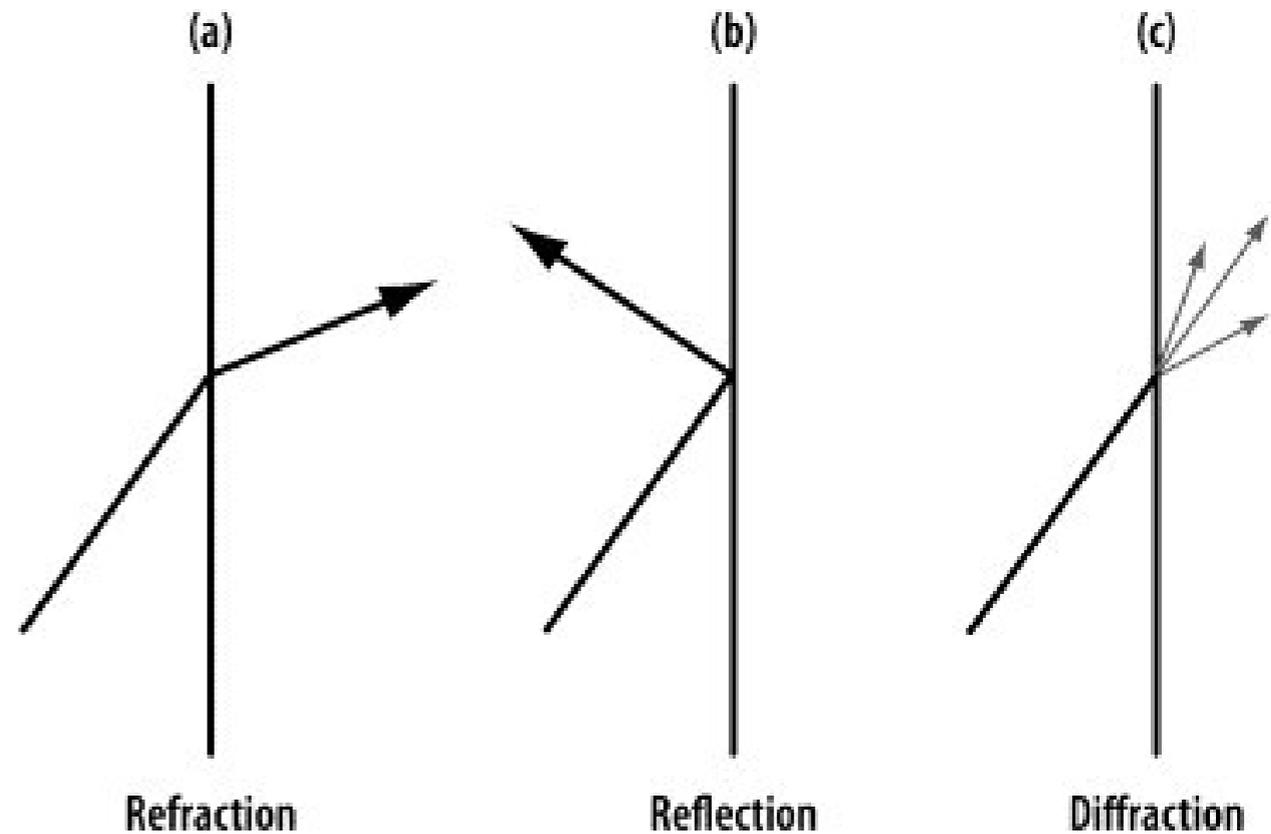
Prof. Filippo Milotta  
milotta@dmi.unict.it



# Deviazione delle onde sonore

Le onde in generale possono subire delle alterazioni durante la propagazione. In particolare le onde sonore possono subire delle deviazioni, che si verificano sotto diverse condizioni fisiche. Abbiamo:

- Rifrazione
- Riflessione
- Diffrazione





# Rifrazione

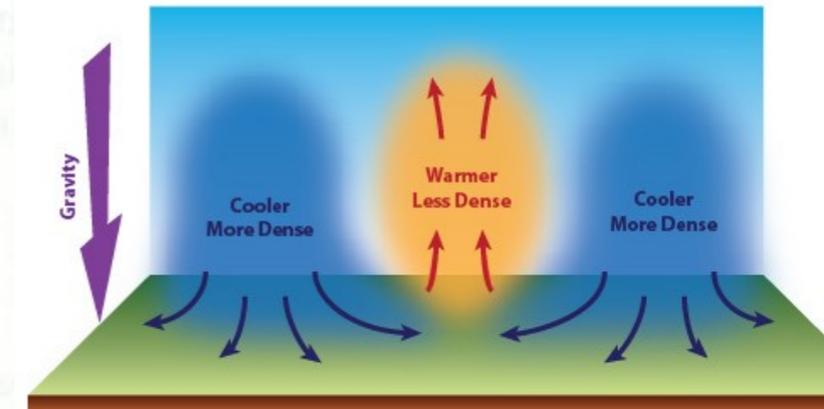
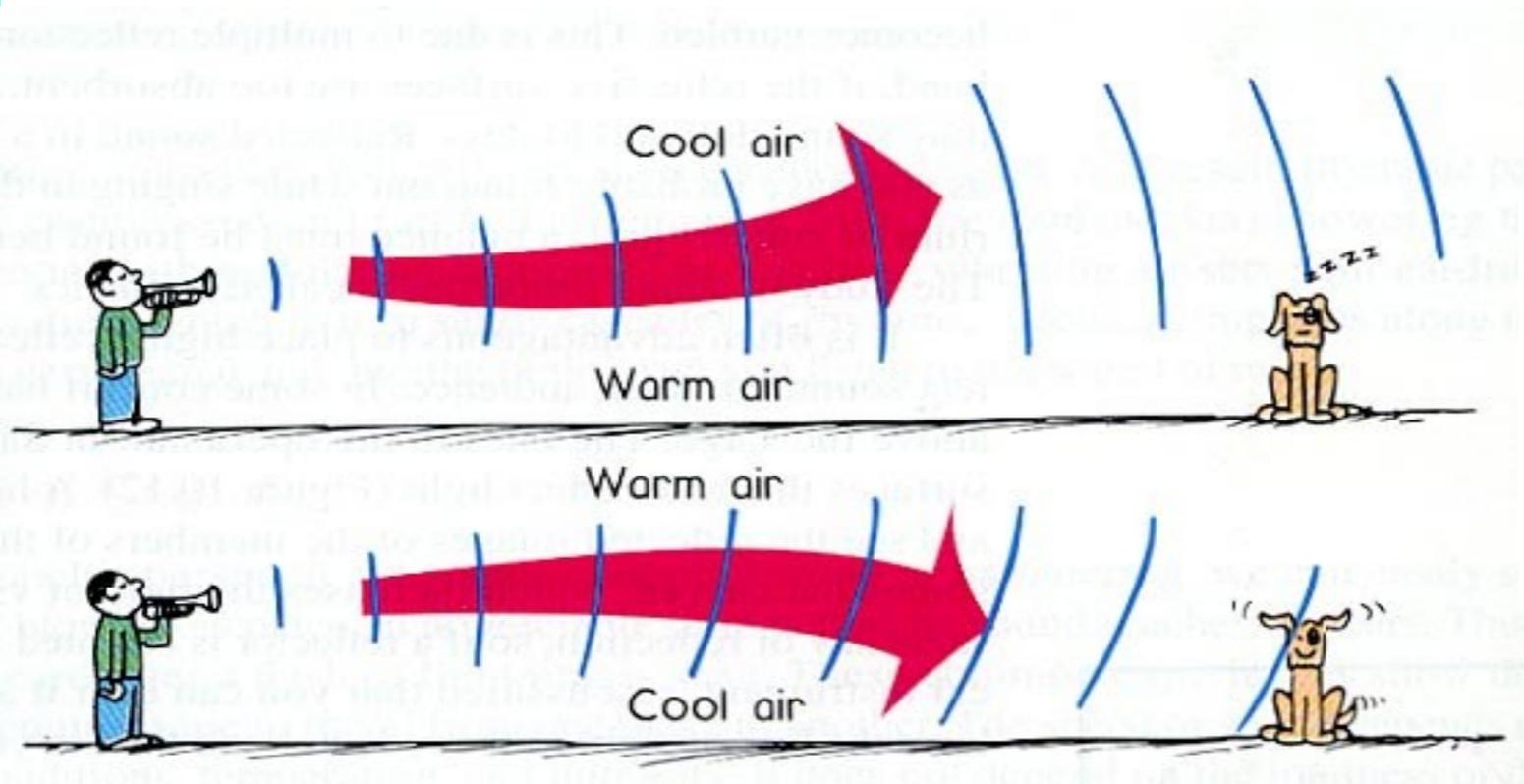
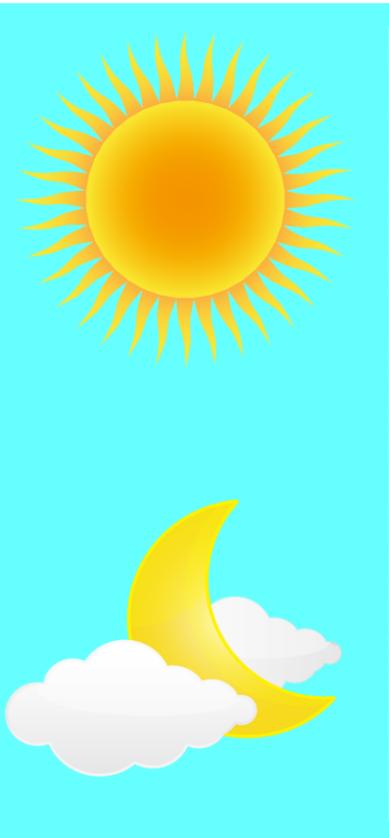
La **rifrazione** è un fenomeno fisico che consiste nella deviazione di un'onda causata da una variazione nella velocità di propagazione della stessa.

- La velocità varia se cambia la temperatura...
- ...oppure se cambia il mezzo di propagazione.





# Rifrazione del suono - Fenomeni



Nell'aria fredda la velocità del suono è più bassa, mentre nell'aria calda è più alta. Quando l'aria vicino al suolo è calda (es: giorno) e sopra fredda, le onde vengono deviate verso l'alto. Viceversa vengono deviate verso il basso (es: notte). Per questo nelle serate fredde i suoni possono essere uditi più facilmente a parità di distanza dalla sorgente.

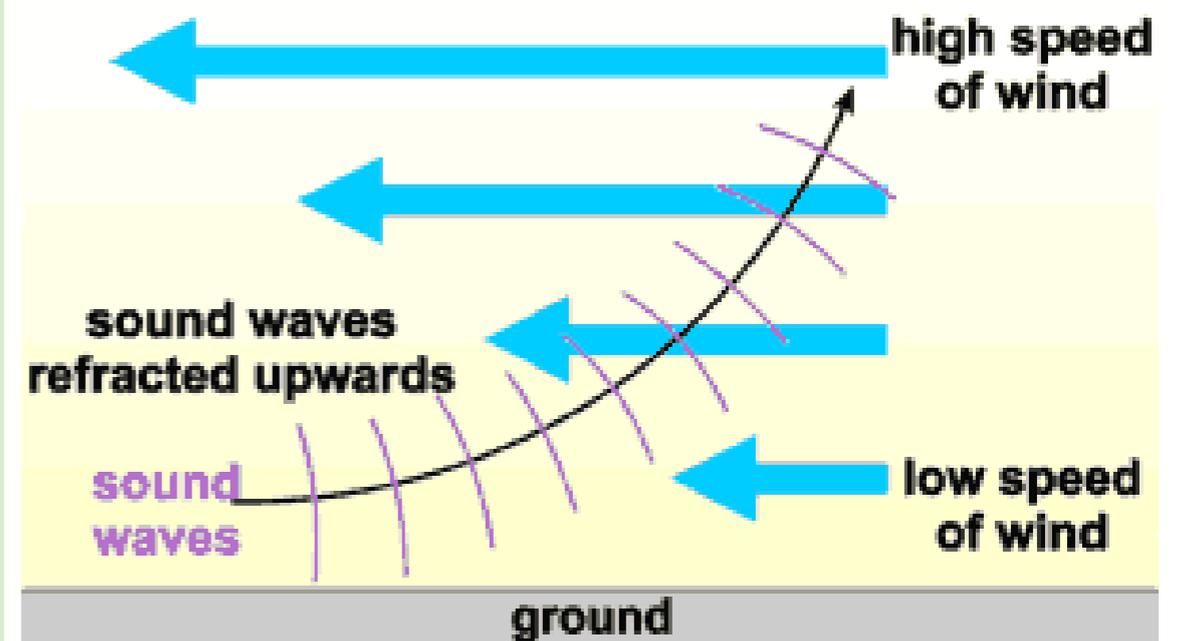
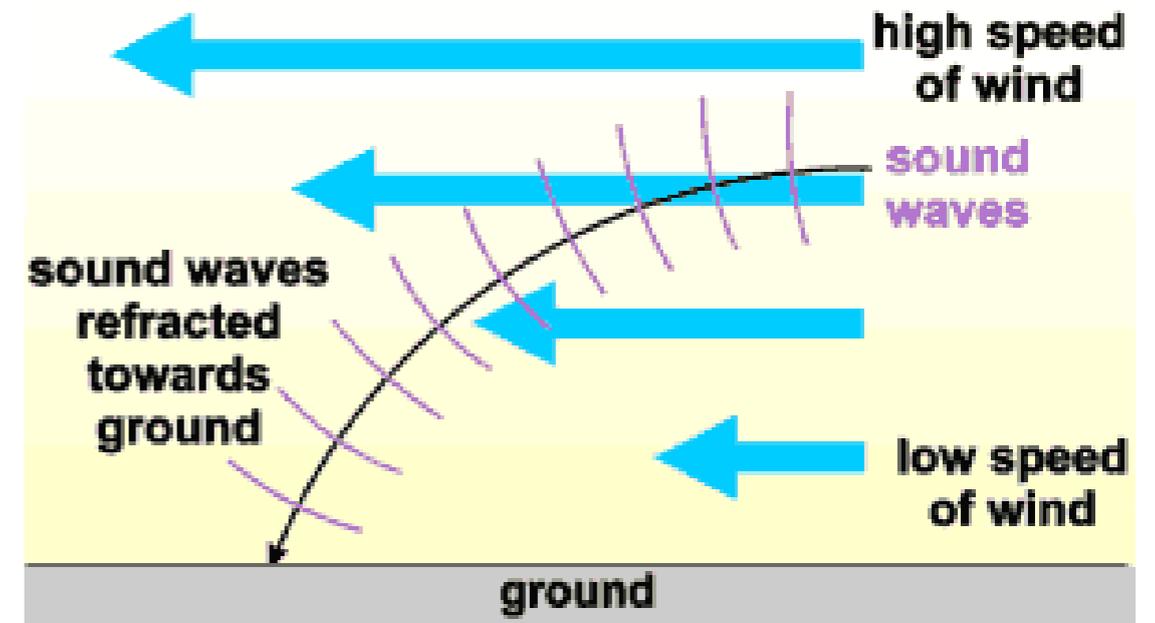


# Rifrazione del suono - Fenomeni

## Il vento trasporta le parole?

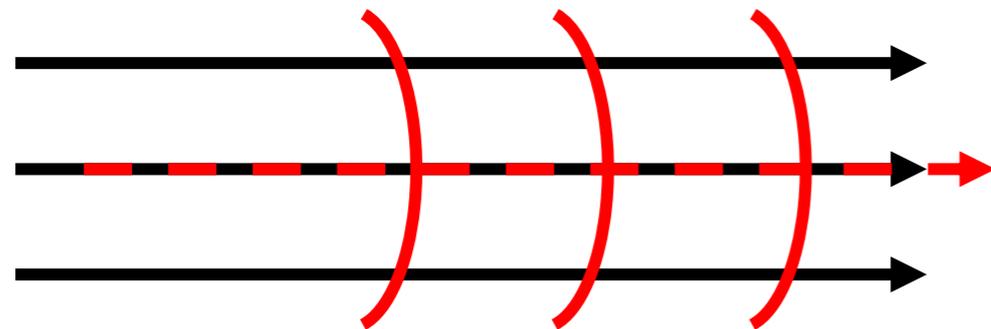
Solitamente il vento soffia ad una velocità più bassa vicino al suolo e più elevata ad alta quota. La differenza tra queste due velocità induce una rifrazione. Nel caso in cui la direzione delle onde sonore è uguale alla direzione in cui soffia il vento, queste verranno rifratte verso il basso. Se la direzione è opposta le onde saranno rifratte verso l'alto.

Per questo si ha l'impressione che il vento «trasporti» le parole. In realtà le onde vengono deviate e non trasportate.

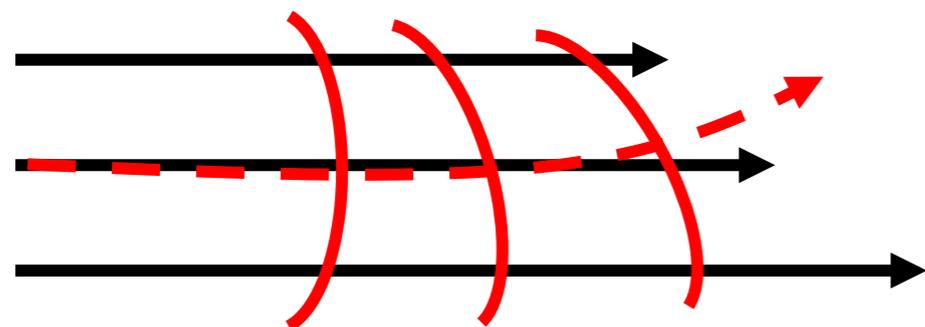




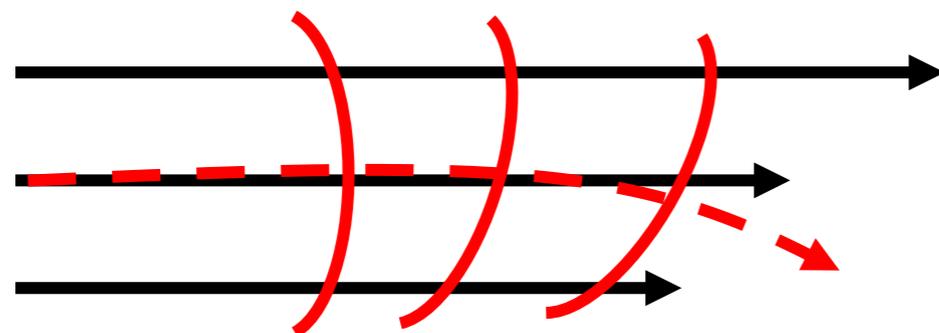
# Un altro modo per rappresentare quanto visto prima



- Condizione normale



- Onde più lente in alto e più veloci in basso
- → L'onda sonora tende a salire
- Sarà meno percepibile in basso

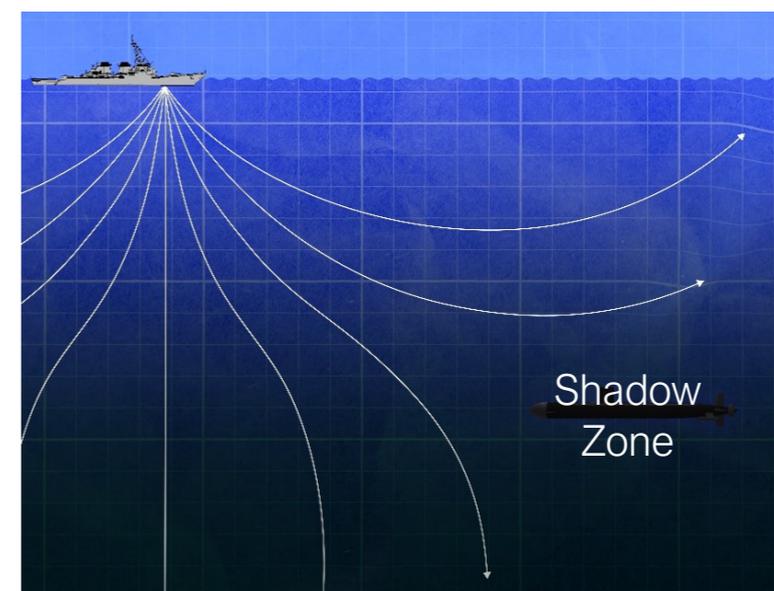
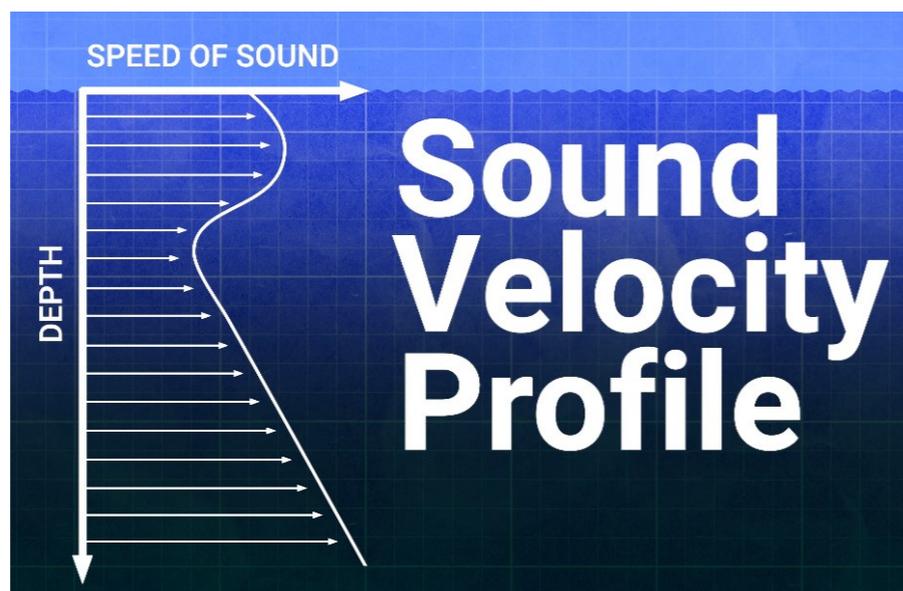
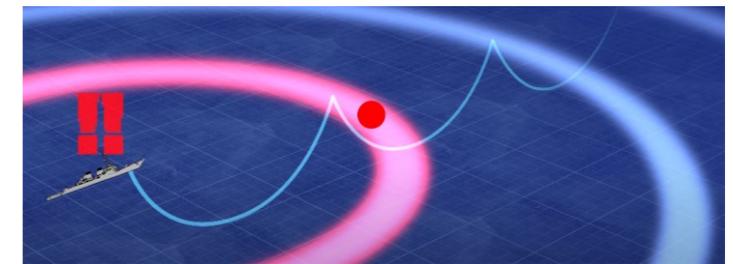
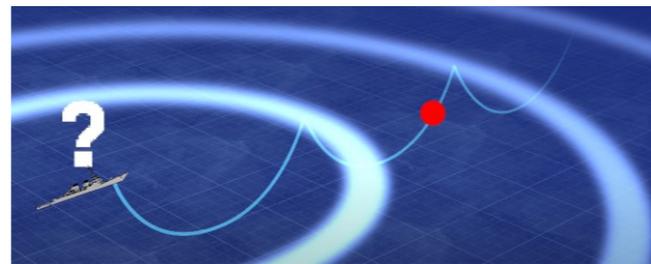
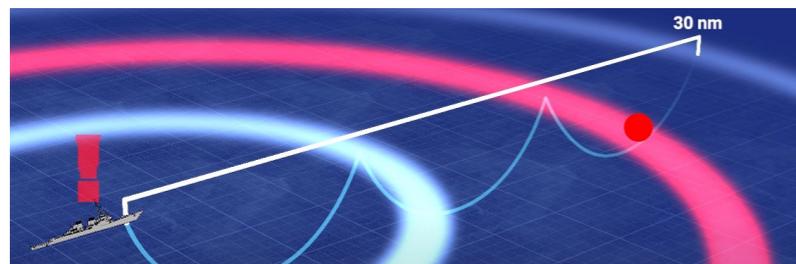
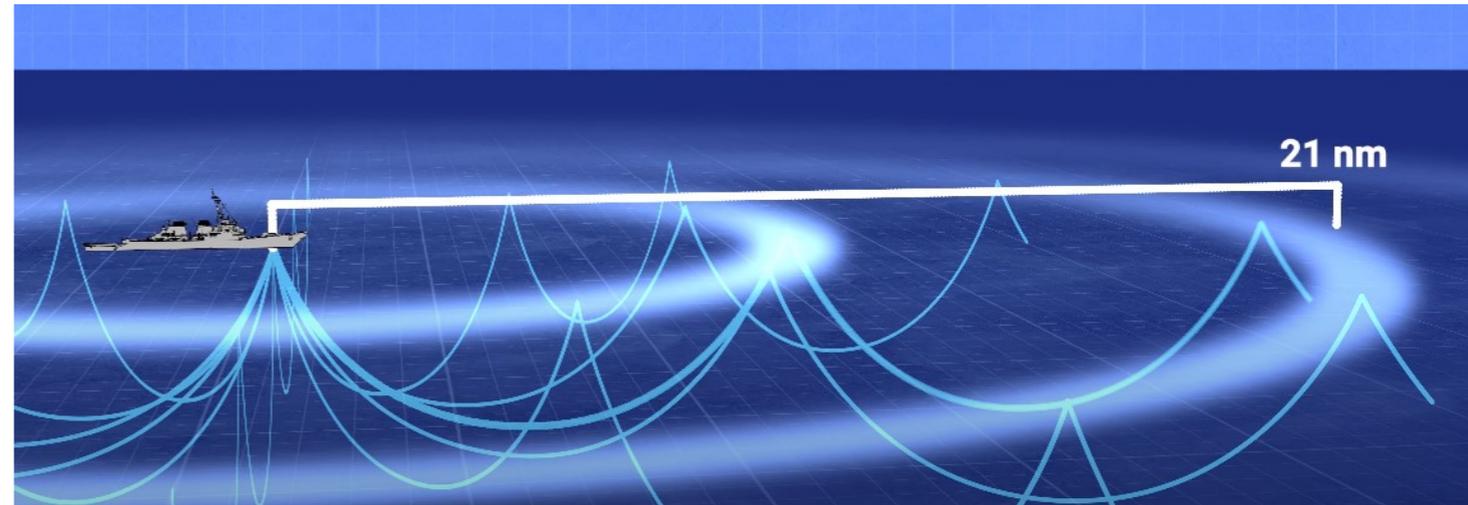
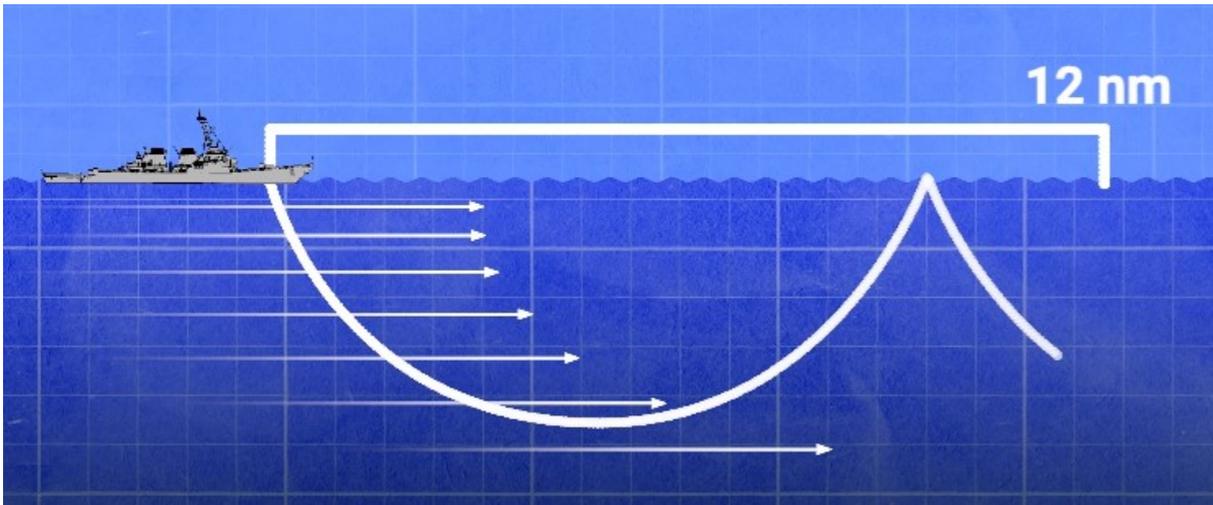


- Onde più lente in basso e più veloci in alto
- → L'onda sonora tende a scendere
- Sarà più percepibile in basso



# Sonar e Rifrazione

Dal riferimento visto nella Lez 3:  
[EN] Sottomarini e sonar  
<https://youtu.be/AqqaYs7LjIM?t=1123>

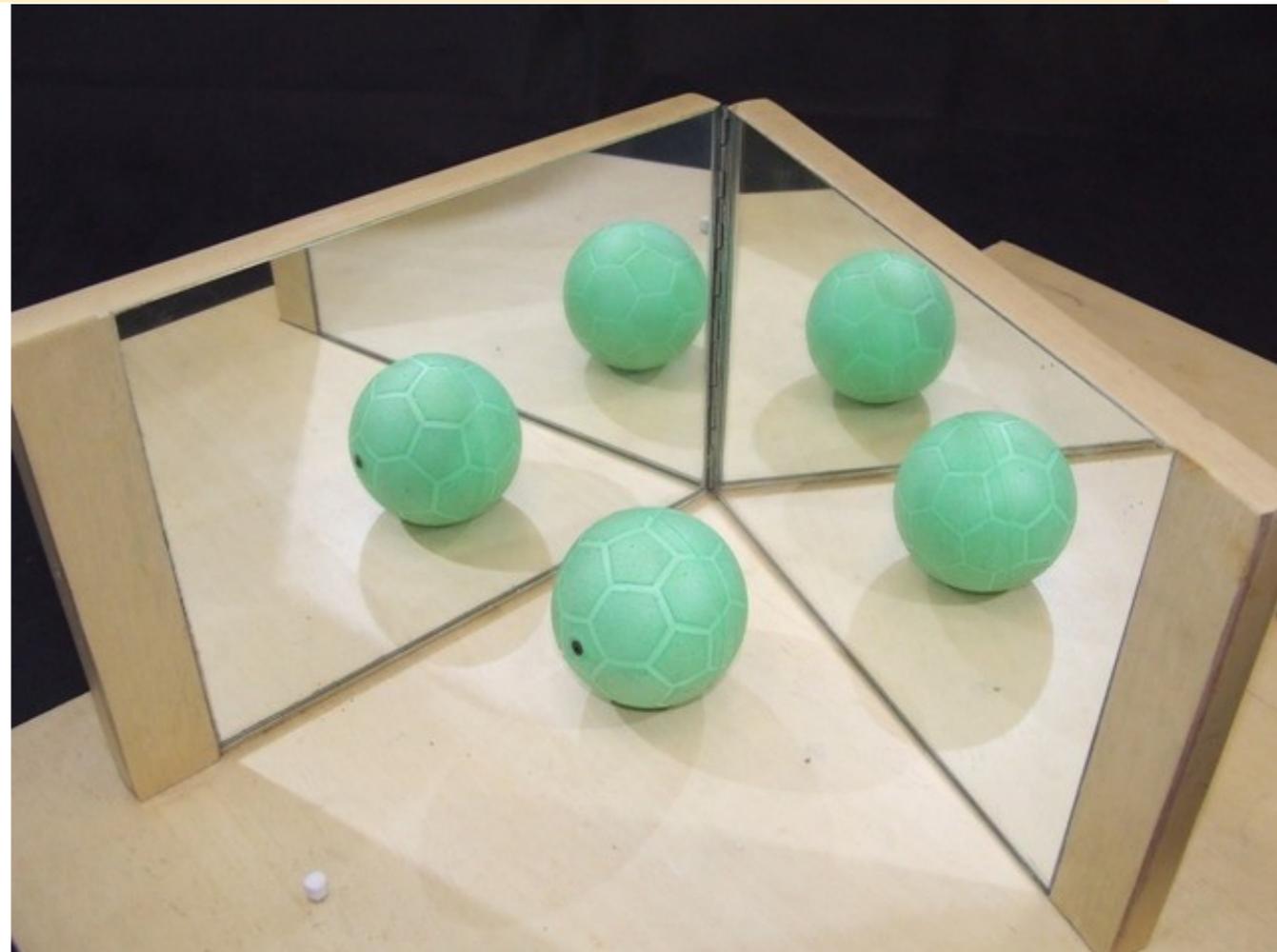




# Riflessione

La **riflessione** è un fenomeno fisico che consiste nella deviazione di un'onda che colpisce la superficie di separazione tra due mezzi di propagazione differenti. Incapace di attraversare tale superficie, l'onda viene deviata.

- **ATTENZIONE!** La riflessione si verifica sotto determinate condizioni fisiche!
- Ci concentreremo sulla riflessione delle onde sonore.





# Riflessione del suono

Affinché un suono che incontra un ostacolo sia riflesso, è necessario che la sua **lunghezza d'onda** sia molto più piccola dell'ostacolo.

- In ogni caso il suono riflesso perderà una parte della sua energia che dipende dal materiale della superficie con cui si scontra.
- Se in certi ambienti si vuole evitare la riflessione, si ricorre a materiali detti **fonoassorbenti**. Anche se le condizioni per la riflessione sono soddisfatte, la maggior parte dell'energia verrà comunque assorbita.



# Riflessione del suono - Implicazioni

Poiché un'onda riflessa torna di norma alla sorgente, se si conosce la velocità  $v$  di propagazione è possibile calcolare la **distanza**  $D$  di un oggetto dalla sorgente. Infatti il tempo  $\Delta t$  che essa impiega per andare e tornare vale:

$$\Delta t = \frac{2D}{v}$$

Il funzionamento dei **SONAR** si basa su quest'idea.



# 3D laser Scanner a tempo di volo

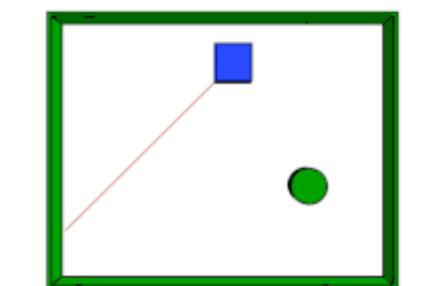
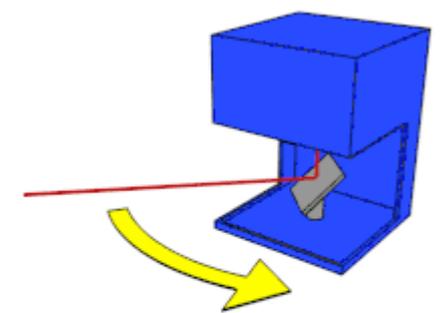
## Hardware

*Un approfondimento da Multimedia*

### LIDAR

Light Detection And Ranging

→ È un concetto simile al SONAR





# 3D laser Scanner a tempo di volo

## Metodo (1)

Si basa su un concetto molto semplice:

La velocità della luce è una grandezza scalare conosciuta; per questo motivo è possibile sapere quanto tempo impiega un fascio laser a raggiungere la superficie di un oggetto ed essere riflesso indietro verso il sensore.

Il tempo impiegato dal fascio di luce (solitamente un fascio laser) raggiungere il punto della superficie dell'oggetto ed essere riflesso prende il nome di ***RTT*** (acronimo di *Round Trip Time*)



# 3D laser Scanner a tempo di volo

## Metodo (2)

■ *RTT* considera due volte la distanza che separa lo scanner e la superficie dell'oggetto.

Dato  $t = RTT$  e  $c = 300000 \text{ km/s}$

è possibile misurare la distanza con la formula

$$d = \frac{(c*t)}{2}$$

$$\Delta t = \frac{2D}{v} = \frac{2d}{c}$$

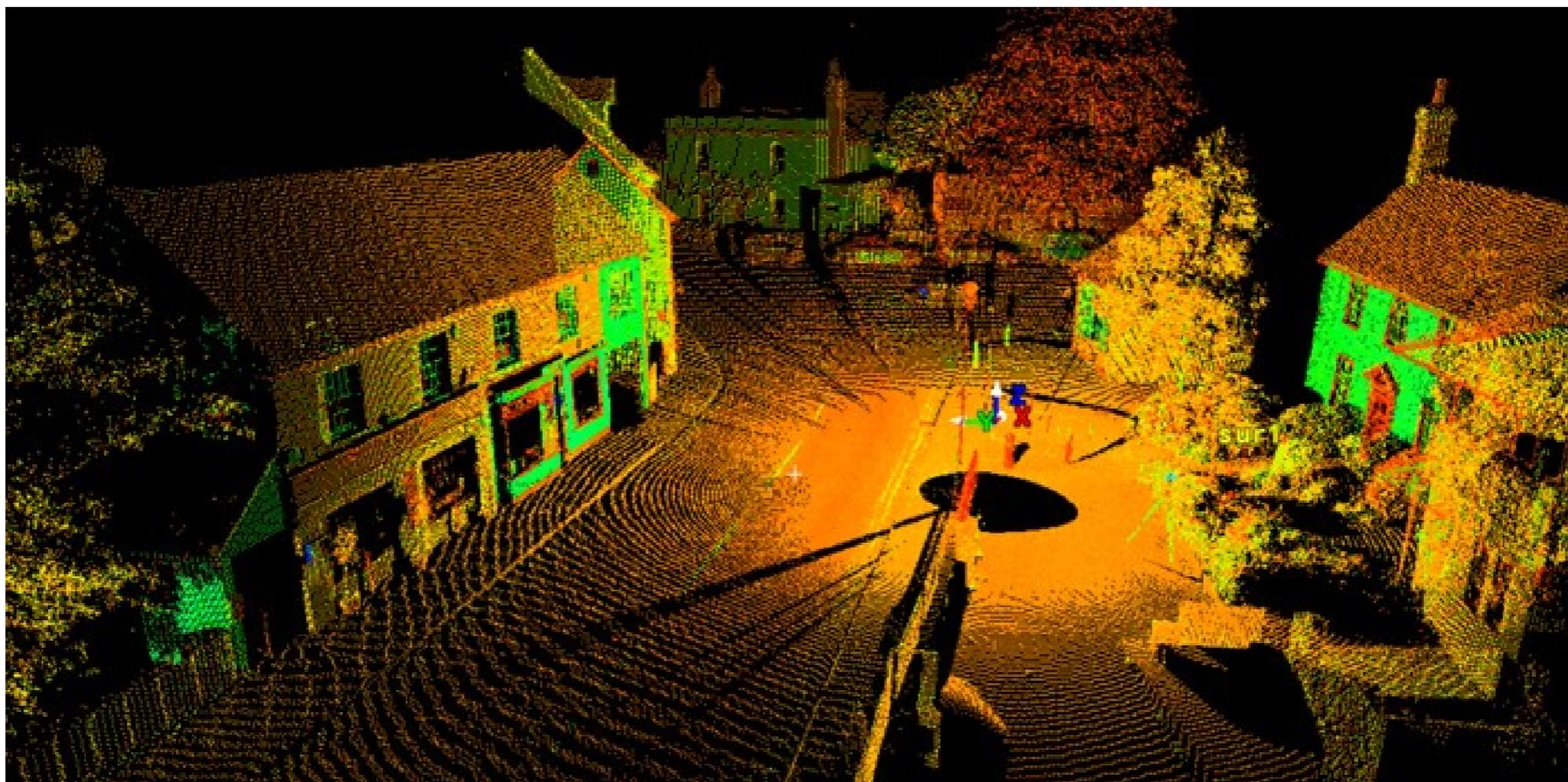
*L'accuratezza è data dalla precisione con cui si è in grado di misurare il tempo  $t$  (es. 3.3 picosecondi è il tempo che impiega la luce a percorrere 1 millimetro).*

[Jim Morrison]



# 3D laser Scanner a tempo di volo

## Risultato

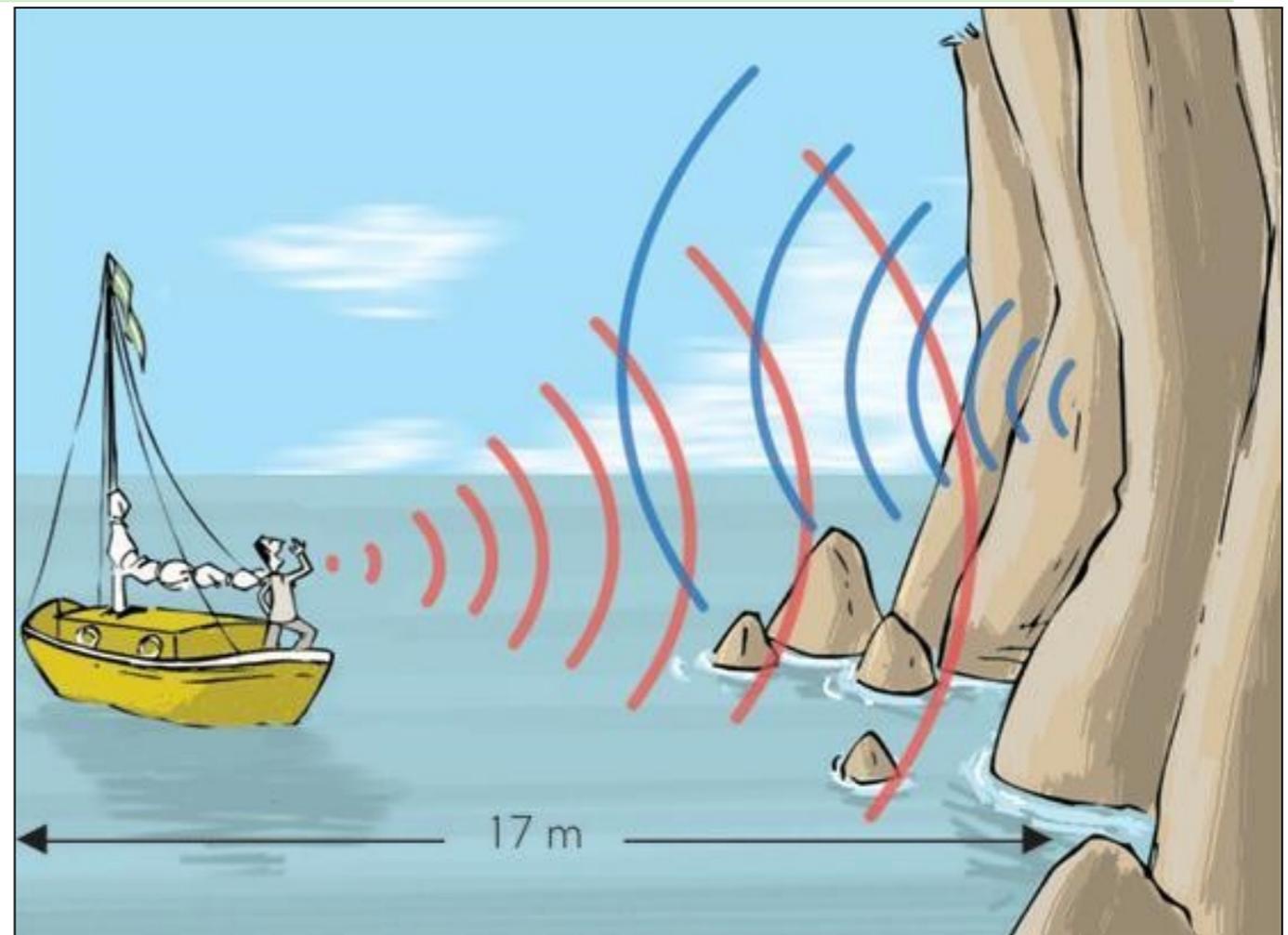




# Riflessione del suono – Eco

Uno dei fenomeni più noti dovuti alla riflessione è quello **dell'eco**. Esso consiste nella sensazione che un suono emesso da una sorgente in una direzione, venga riemesso dopo un certo tempo da un'altra sorgente nella direzione opposta.

**ATTENZIONE!** Affinché l'essere umano possa apprezzare l'eco, non basta che l'onda venga riflessa. Serve che la superficie riflettente si trovi ad una certa distanza dalla sorgente!





# Riflessione del suono – Eco

Gli esseri umani possono distinguere due suoni simili solo se questi arrivano all'apparato uditivo a distanza di tempo di almeno **0.1 s**

Ciò significa che:

- Se la superficie riflettente è troppo vicina alla sorgente, non si riuscirà a distinguere tra il suono originale e il suono riflesso.
- Per poter apprezzare l'eco nell'aria a 20 °C è necessario che la superficie riflettente sia ad una distanza  $D$  di almeno:

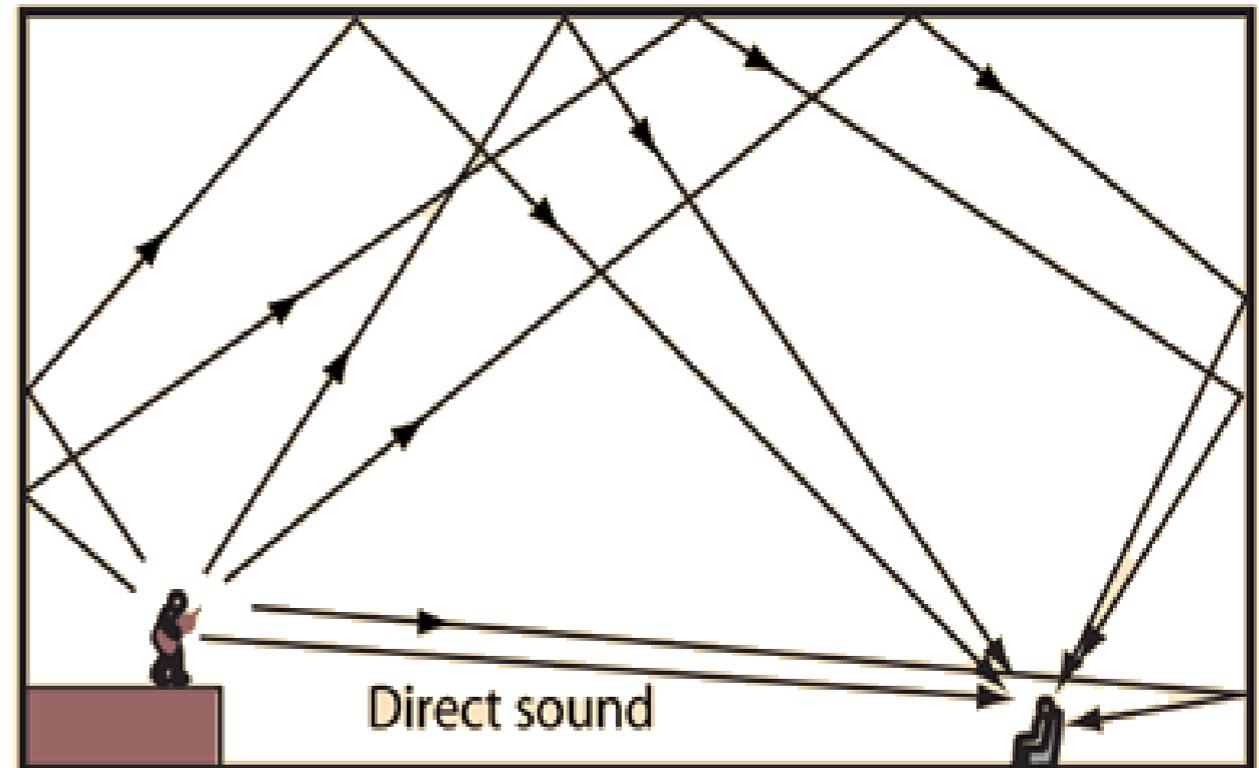
$$D = \frac{v \Delta t}{2} \qquad D \cong \frac{343 \times 0.1}{2} \cong 17 \text{ m}$$



# Riflessione del suono – Riverbero

Se la superficie riflettente è a distanza inferiore di **17 m**, il suono originale e il suono riflesso si sovrapporranno. A livello percettivo si avvertirà un aumento di intensità e/o distorsione. Questo fenomeno prende il nome di riverbero.

- L'acustica delle sale si ottiene studiando e sfruttando il fenomeno del riverbero;
- In musica spesso si usa il riverbero per arricchire le melodie.

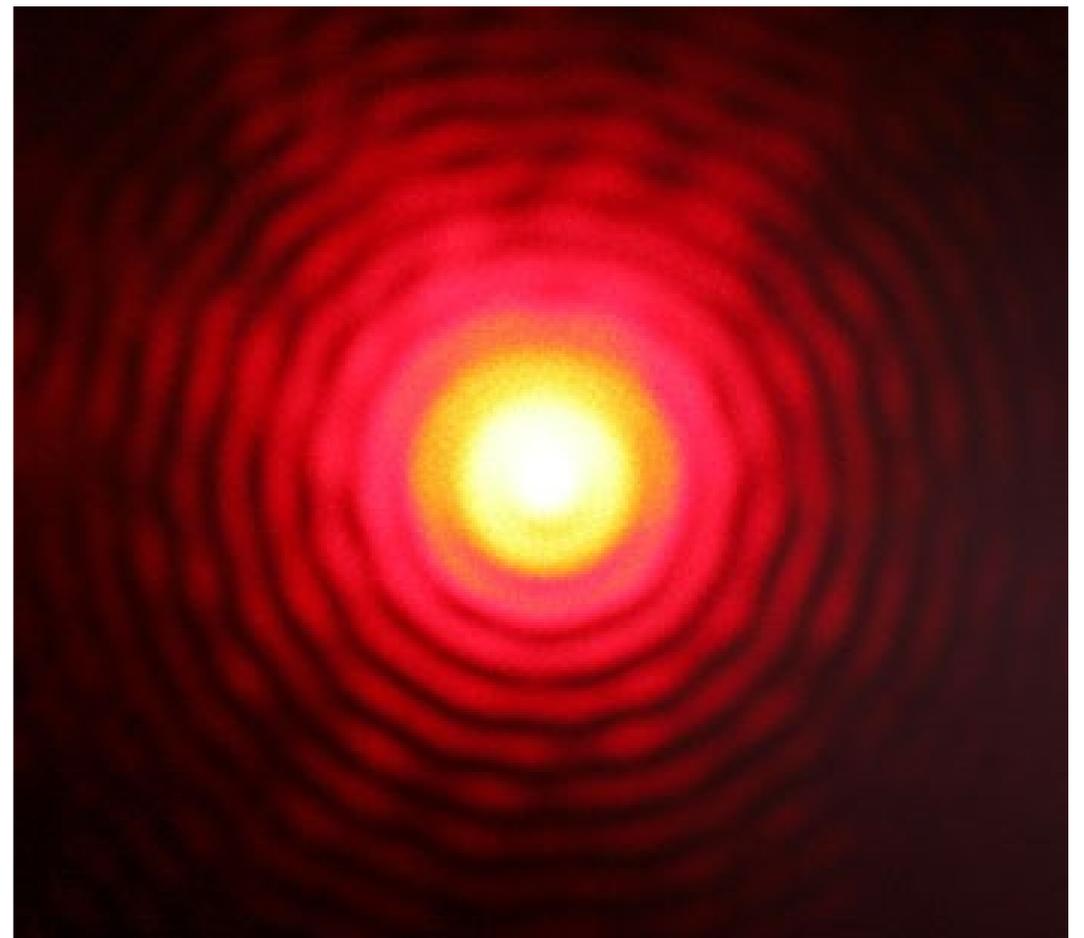




# Diffrazione

La **diffrazione** è un fenomeno fisico che consiste nella deviazione di un'onda che incontra un ostacolo. Nel tentativo di superarlo l'onda si allarga o si «spezza».

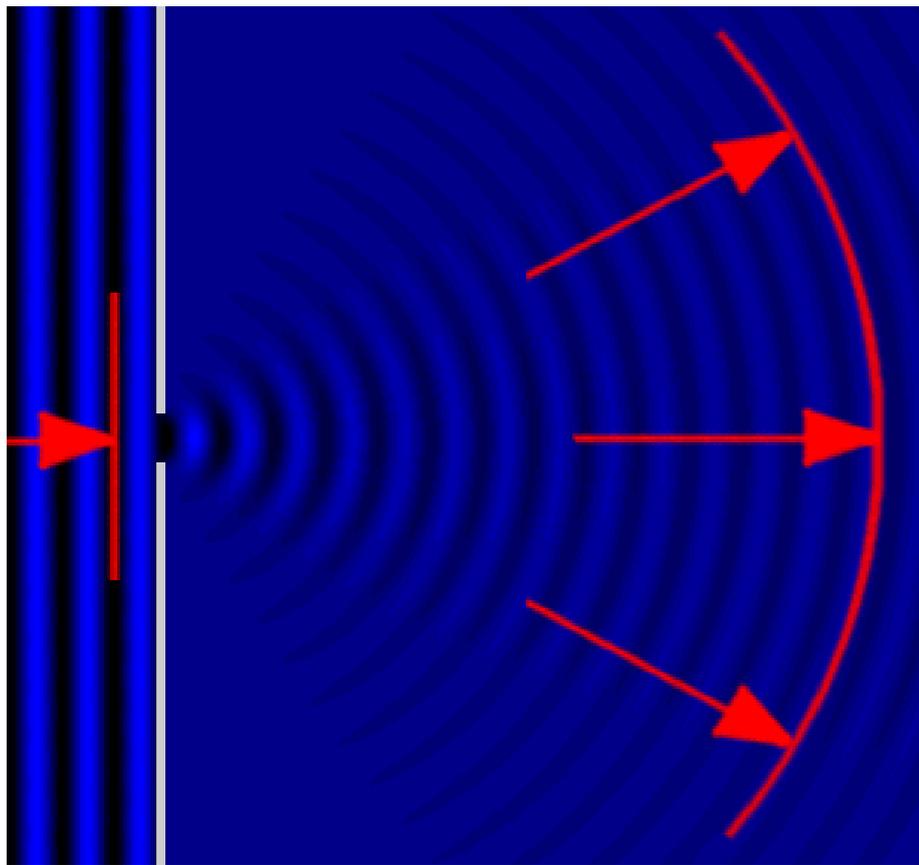
- **ATTENZIONE!** La diffrazione si verifica sotto determinate condizioni fisiche!
- Può essere vista come un tentativo da parte dell'onda di procedere nella direzione preclusa dall'ostacolo.



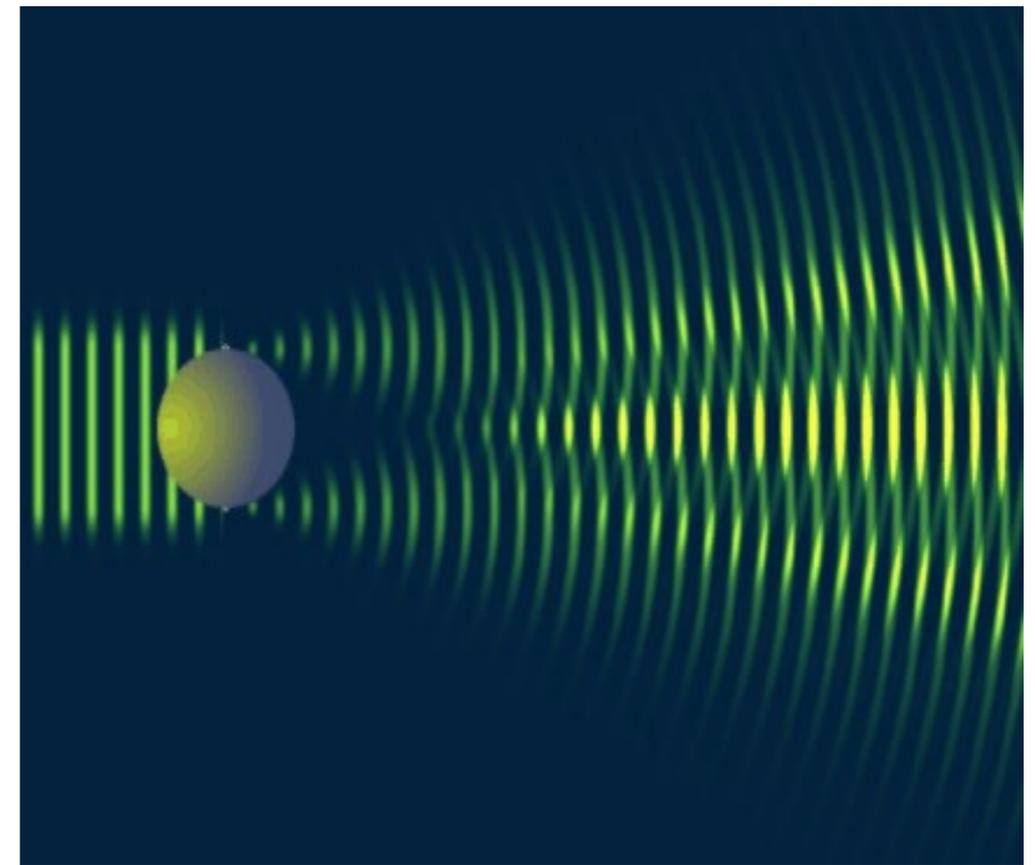


# Diffrazione del suono

Affinché un'onda sonora che incontra un ostacolo o una fenditura sia diffratta, è necessario che la sua **lunghezza d'onda** sia molto più grande dell'ostacolo o fenditura.

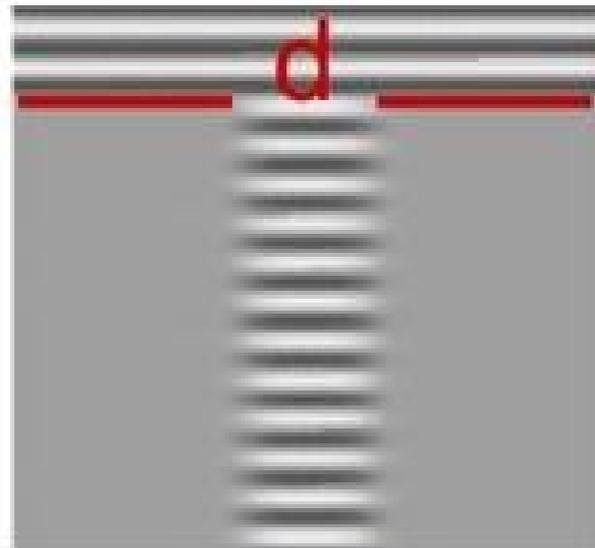


Fenditura

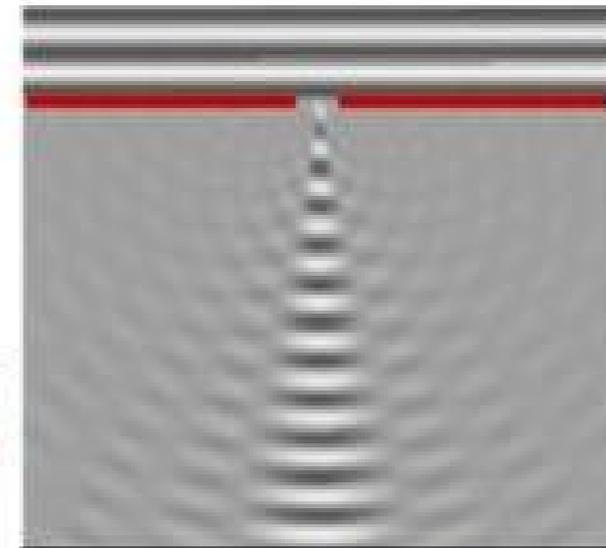


Ostacolo

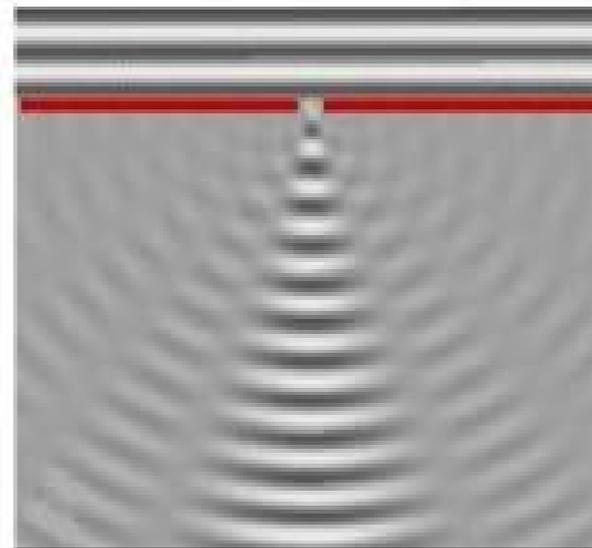
# Diffrazione del suono – Esempio



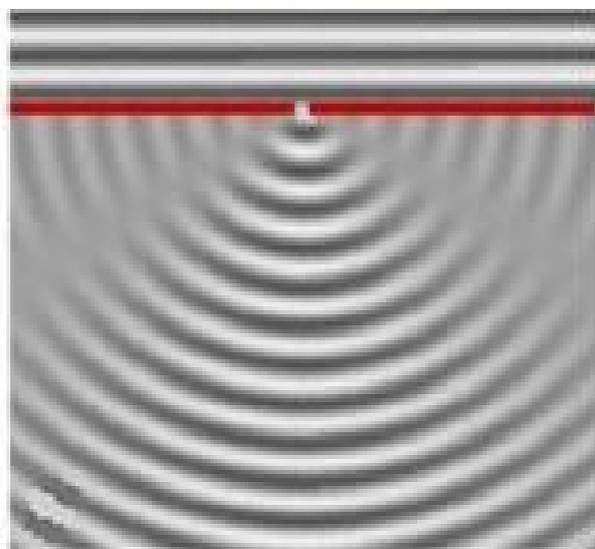
$d \gg \lambda$



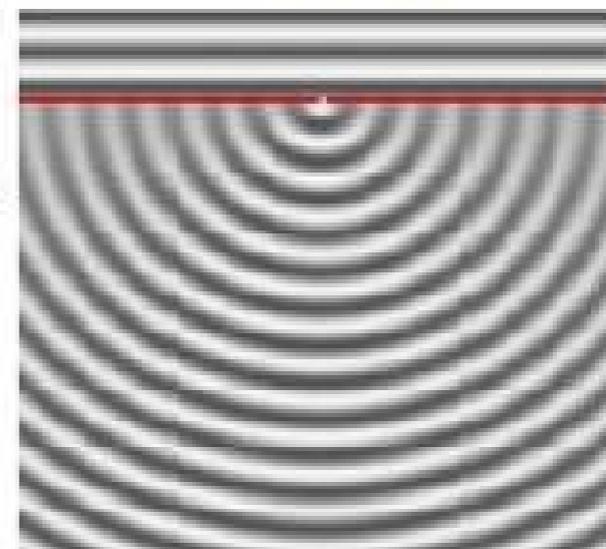
$d > \lambda$



$d \sim \lambda$



$d < \lambda$



$d \ll \lambda$



# Diffrazione del suono – Fenomeni

I **suoni gravi** o a bassa frequenza aggirano più facilmente gli ostacoli rispetto a **suoni acuti** o alta frequenza. Il motivo è che a frequenze più basse corrispondono **lunghezze d'onda più grandi**, quindi anche con ostacoli non eccessivamente piccoli si può apprezzare la diffrazione. L'assenza di diffrazione sonora nel caso di lunghezze d'onda troppo piccole rispetto ad un ostacolo prende il nome di **ombra sonora**.

- Per gli esseri umani è quindi più difficile individuare la sorgente di un suono grave. Questo perché tendono ad aggirare la testa pervenendo ad entrambe le orecchie;
- La nostra bocca ha come scopo quello di migliorare la diffusione del suono sfruttando la diffrazione causata dal passaggio da una fenditura.



# Frequenza – Variazione delle frequenza percepita dovute al moto

Ricordiamoci che:

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad \text{da cui segue} \quad f = \frac{v}{\lambda}$$

Questo significa che variazioni della lunghezza d'onda o della velocità dell'onda, implicherebbero una variazione della frequenza.

Sappiamo dalla meccanica che se due corpi  $C_1$  e  $C_2$  si muovono ad una certa velocità  $v_1$  e  $v_2$ , la velocità di  $C_1$  percepita da  $C_2$ , in generale non sarà  $v_2$ , ma dipenderà anche da  $v_1$ . Possiamo concludere che se la sorgente o il ricevitore dell'onda sonora sono in movimento, allora la velocità da considerare nella relazione sopra non sarà più  $v$ !



# Frequenza – Effetto Doppler

Attenzione! **Non** significa che la velocità nel mezzo di propagazione cambia ma che, dal punto di vista della sorgente o del ricevitore, bisogna considerare una componente **relativa**. Di conseguenza anche la **frequenza percepita** dal ricevitore sarà in generale diversa. Il fenomeno prende il nome di **Effetto Doppler**.

In particolare, sia  $f_0$  la frequenza reale,  $v$  la velocità dell'onda nel mezzo,  $v_s$  la velocità della sorgente e  $v_r$  la velocità del ricevitore, allora la frequenza  $f$  effettivamente percepita sarà:

$$f = \left( \frac{v - v_r}{v - v_s} \right) f_0$$

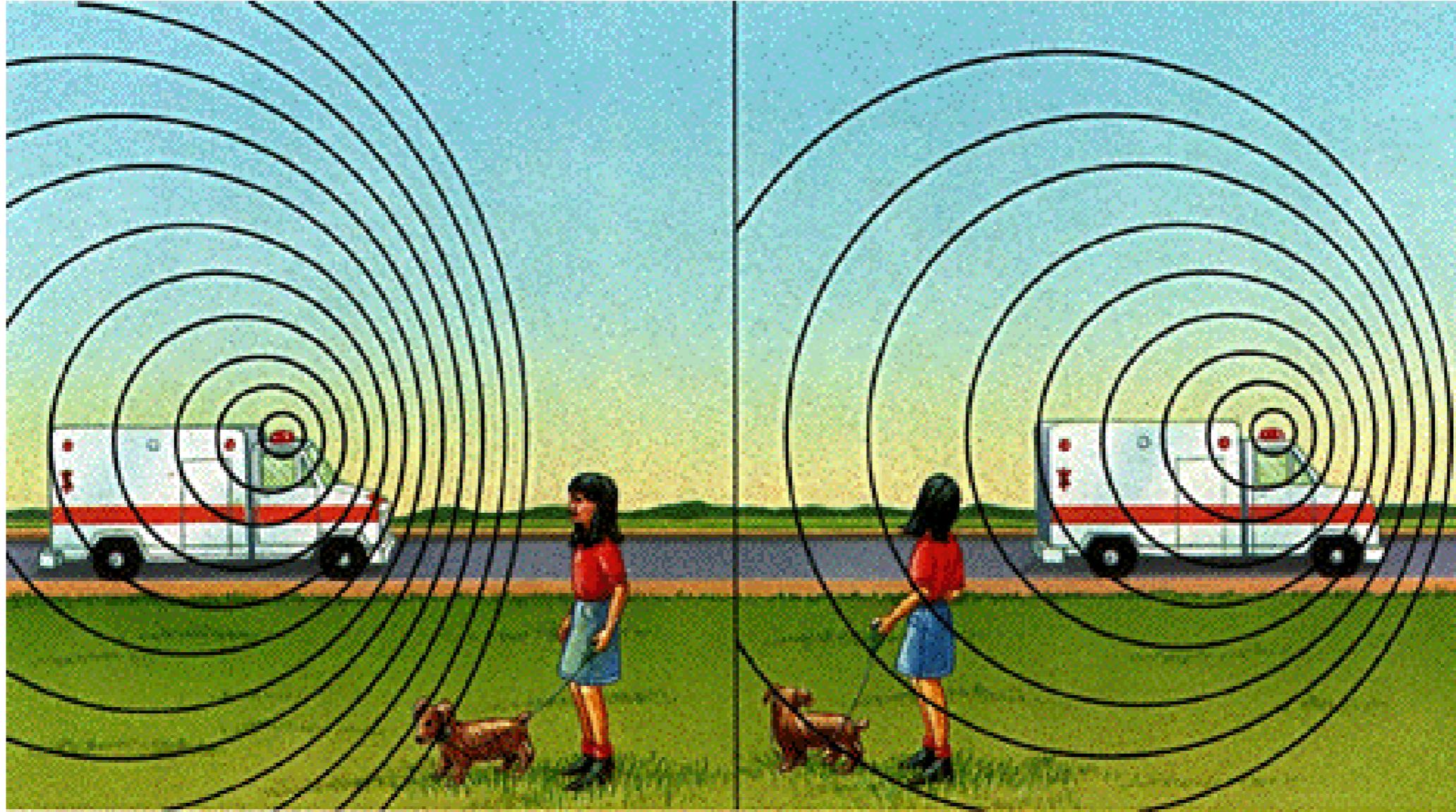


# Frequenza – Formula effetto doppler

## Nota bene:

- Nella formula vista, il segno di  $v_s$  e  $v_r$  sarà positivo se il verso sarà lo stesso di  $v$ , negativo altrimenti;
- La formula vale solo per valori di  $v_s$  e  $v_r$  che non azzerino il denominatore e non diano luogo a frequenze negative.
- Se il denominatore si azzerava, cioè  $v = v_s$ , la sorgente segue l'onda sonora emettendo oscillazioni sovrapposte che giungeranno tutte in una volta al ricevitore ( **Bang supersonico** ).
- Se  $v_s$  supera  $v$ , allora le oscillazioni emesse dalla sorgente arriveranno all'ascoltatore in ordine inverso. Questo accade perché le oscillazioni emesse saranno superate dalla sorgente stessa.

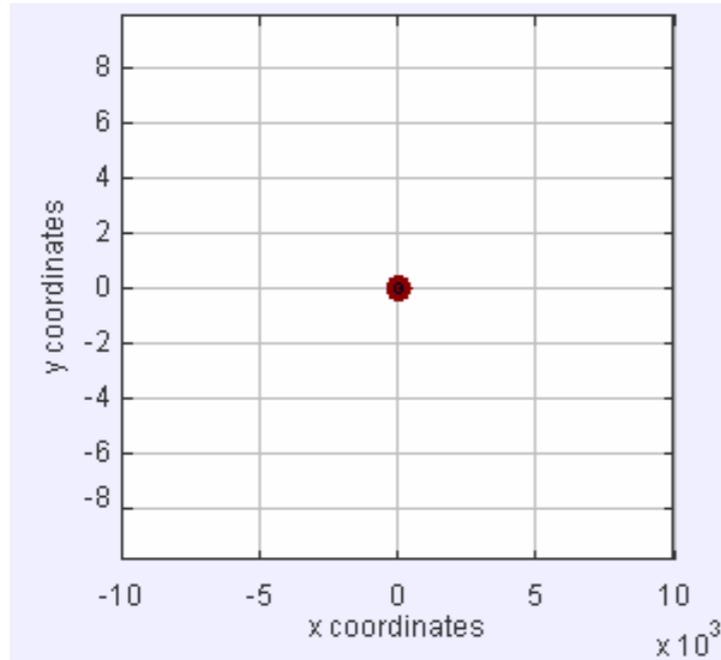
# Effetto Doppler – Esempi



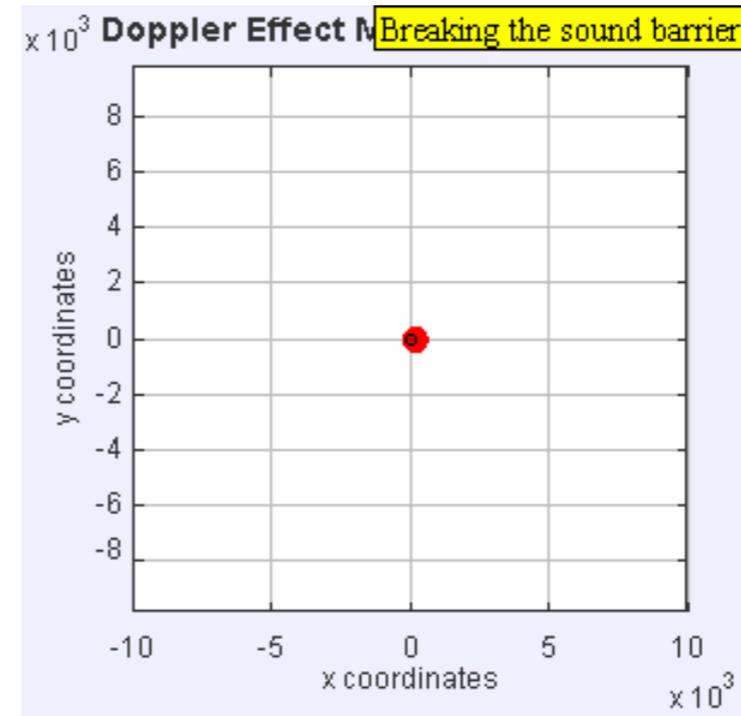
Le sirene vengono udite ad una frequenza più alta quando ci vengono incontro, e ad una frequenza più bassa quando si allontanano.



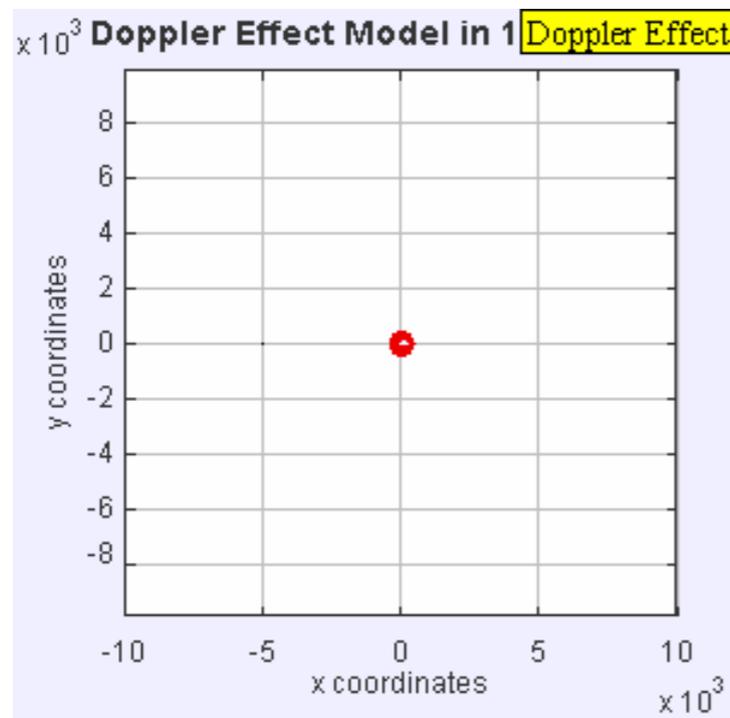
# Effetto Doppler – Esempi



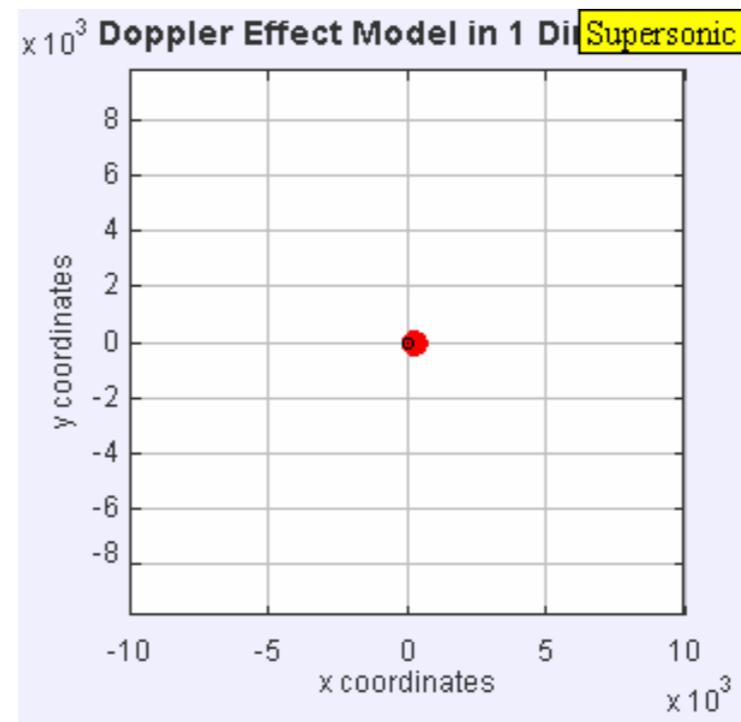
Sorgente  
Ferma



Sorgente a  
velocità del  
suono



Sorgente a  
velocità  
inferiore a  
quella del  
suono.



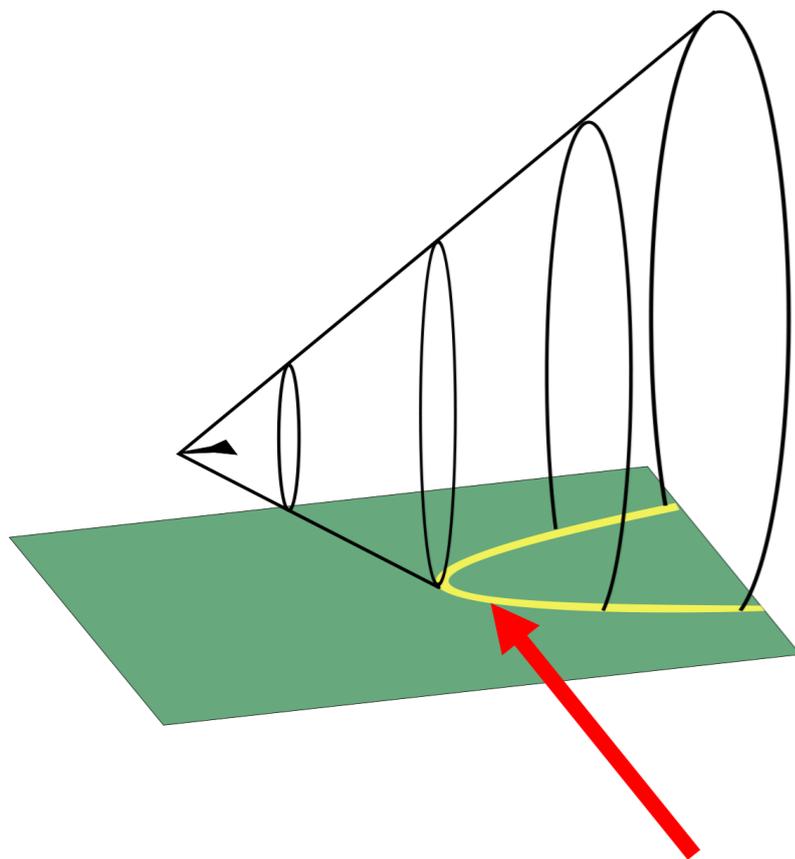
Sorgente a  
velocità  
superiore al  
suono



# Bang Supersonico e Mach

$$331,6 \frac{m}{s} = 331,6 * 60 * 60 \frac{m}{h} = 1.193.760 \frac{m}{h} = 1.193 \frac{km}{h}$$

Cono di Mach



Mach	Km/h
0	0
1	1226
2	2451,2
3	3675,4
4	4900,5
5	6125,3
6	7350,1
7	8575,4
8	9800,2
9	11.025,3
10	12.250,1

Zona di udibilità del Bang Supersonico



# Approfondimenti

- *[EN] Does sound travel with the wind?*

[http://www.hk-phy.org/iq/sound\\_wind/sound\\_wind\\_e.html](http://www.hk-phy.org/iq/sound_wind/sound_wind_e.html)

- *[EN] Can wind bring sound?*

<https://physics.stackexchange.com/questions/299422/can-wind-bring-sounds-sooner-towards-me/299429#299429>

- *[EN] How Sonar Works (Submarine Shadow Zone)*

<https://youtu.be/AqqaYs7LjIM?t=1122>

- *[EN] This is not a Shockwave (Sonic Boom Demistified)*

<https://www.youtube.com/watch?v=uO4FckCAZtU>

- *Sonic Boom – foto da vedere*

<https://aerospacecue.it/cos-e-causa-fenomeno-boom-sonico-velivoli/32260/>