

# Suono

- È dovuto all'interazione tra onde e corpo umano (orecchio)
- Le onde sono longitudinali e provocano spostamento delle molecole e variazione della pressione
- Si propagano nell'aria, nell'acqua e in molti materiali, ma non nel vuoto. (vedi film "Apollo 13")
- La velocità vale circa  $331 \text{ m / s}$  ( a  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  e  $1 \text{ atm}$  )  
Se  $T$  (temperatura in  $^\circ\text{C}$ ) non è zero  $v = ( 331 + 0.60 T ) \text{ m / s}$  circa
- Se considero la velocità della luce infinita, posso trovare a che distanza è caduto un fulmine

# Caratteristiche del suono

- L'intensità è collegata all'energia
- Il tono (alto o basso) dipende dalla frequenza
- Possiamo udire i suoni in un certo intervallo di frequenze (tra *20* e *20000 Hz* circa)
- L'intervallo di udibilità decresce con l'età, specialmente per le alte frequenze (applicazioni?)
- I cani percepiscono gli ultrasuoni fino a *50000 Hz*, i pipistrelli fino a *100000 Hz*

# Infrasuoni e ultrasuoni

- I suoni con frequenza minore di  $20\text{ Hz}$  non sono uditi (infrasuoni)
- Sono generati da terremoti, tuoni, vulcani, ma anche macchine usate nelle fabbriche
- Un suono non udito dall'orecchio può essere percepito dal corpo altrimenti come vibrazione
- Se la frequenza del suono è simile a quella di qualche processo biologico, l'effetto può essere negativo
- Gli ultrasuoni sono usati talvolta per l'autofocus delle macchine fotografiche
- Come funziona l'eco?

# Intensità del suono

- Il più piccolo suono udibile ha un'intensità di  $10^{-12} \text{ W/m}^2$ .
- Il più grande è  $10^{12}$  volte più intenso
- Un suono dieci volte più intenso in energia viene percepito come due volte più intenso dall'orecchio
- Per questo l'intensità si misura in decibel

$$\beta = 10 \log_{10} (I/I_0) \quad I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$$

in questo modo se  $I=10 I_0$ ,  $\beta = 10$  e se  $I=100 I_0$ ,  $\beta = 20$

# Intensità caratteristiche in decibel

Suono	Decibel
Fruscio di foglie	10
Sussurro	20
Conversazione	65
Strada trafficata	70
Concerto rock al chiuso	120
Aviogetto a 30 metri	140
Soglia del dolore	120

# Sorgenti sonore

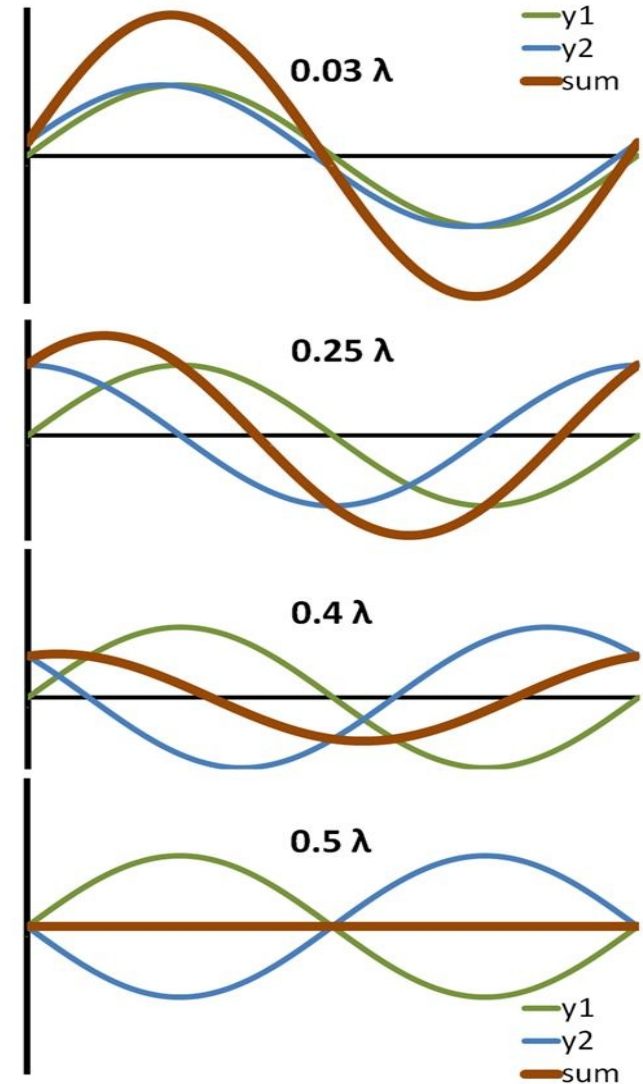
- Il suono è un'onda che origina da una vibrazione
- Il suono ha la stessa frequenza della vibrazione, ma lunghezza d'onda e velocità possono essere diverse
- Membrane: tamburo
- Vibrazioni di metalli: campane e gong
- Corde vibranti: violino, chitarra, pianoforte
- Colonne d'aria vibrante: organo, tromba, flauto
- La produzione di onde si basa su riflessione, interferenza e risonanza

# Riflessione

- Un'onda arriva su di una superficie in cui la natura del mezzo di propagazione cambia: può essere riflessa del tutto o in parte
- Ci sono due casi a seconda che l'estremo sia fisso o mobile
- Se l'estremo è fisso l'onda viene invertita perché l'estremo esercita sull'onda una forza opposta e nel contempo non si sposta
- Se è mobile viene riflessa inalterata
- Vedi il file su
- [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Reflection\\_at\\_fixed\\_and\\_free\\_string\\_ends.gif](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Reflection_at_fixed_and_free_string_ends.gif)  
per una versione animata

# Interferenza

- Quando due onde si incontrano nello stesso punto l'onda risultante da' uno spostamento che è somma dei due spostamenti (principio di sovrapposizione)
- L'effetto può aumentare o diminuire lo spostamento provocato ciascuna di esse (interferenza costruttiva o distruttiva sono casi estremi)



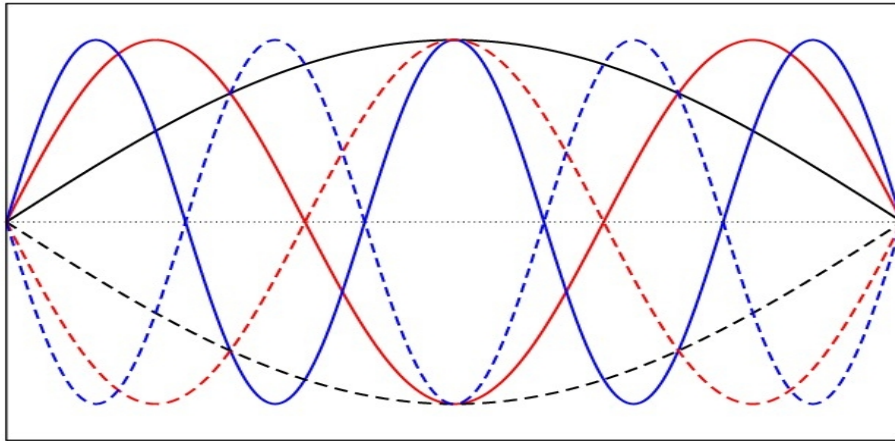


# Risonanza

- Un'onda riflessa in un intervallo chiuso interferisce con se stessa
- Solo alcune particolari lunghezze d'onda “sopravvivono” a questo trattamento
- Queste sono chiamate onde stazionarie
- Le lunghezze d'onda sono diverse a seconda che gli estremi siano fissi o mobili

# Estremi fissi

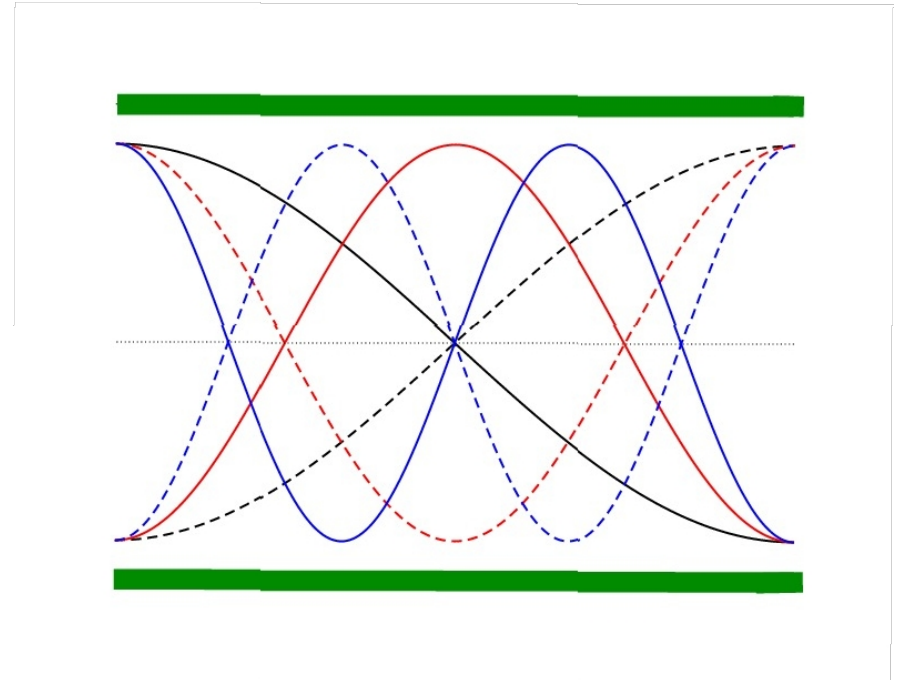
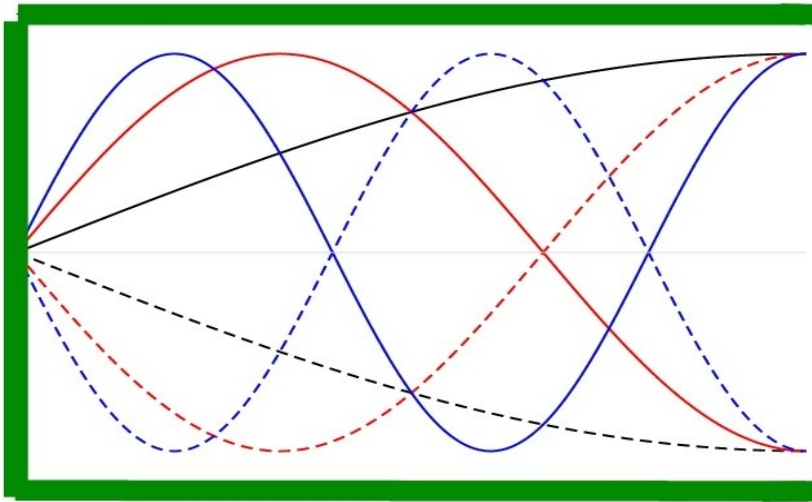
- Gli estremi devono essere dei nodi
- Se  $L$  è la lunghezza dell'intervallo,  $2L = n\lambda$



# Estremi non fissi

- Possono essere uno fisso e uno no oppure entrambi liberi

$$\lambda_N = 4L / (2N+1) \quad f_N = (2N+1)v/4L \quad N=0,1,2,\dots \quad \lambda_N = 2L / N \quad f_N = N v/2L \quad N=1,2,\dots$$



# Effetto Doppler

- Se una sorgente si muove, l'osservatore misura una frequenza diversa da quella misurata dalla sorgente
- Il periodo è il tempo che intercorre tra l'arrivo di due fronti d'onda
- Se la distanza tra sorgente e rivelatore aumenta o diminuisce, il tempo a cui sono ricevuti i fronti d'onda cambia



# Sorgente in movimento

- Il primo fronte d'onda è emesso al tempo  $t$  e deve percorrere una distanza  $L$
- Il secondo è emesso al tempo  $t+T$  e deve percorrere una distanza  $L-v_s T$ , dove  $v_s$  è la velocità di avvicinamento
- I due fronti d'onda arrivano a tempi  $t_1=t+L/v_o$  e

$$t_2 = t + T + (L-v_s T) / v_o$$

- $t_2 - t_1 = T' = T - v_s T / v_o = (1-v_s / v_o) T$
- $f' = f / (1-v_s / v_o)$

# Osservatore in movimento

- Se l'osservatore si muove *in direzione della sorgente* il tempo tra due fronti d'onda diminuisce
- Il primo fronte percorre una distanza  $L$  mentre il secondo una distanza  $L - v_o T'$ .

$$T' = (L - v_o T') / v_s - L / v_s + T$$

$$T' = T / (1 + v_o / v_s)$$

$$f' = (1 + v_o / v_s) f$$

# Applicazioni

- Il sonar è usato per localizzare gli oggetti sott'acqua ed è basato sul calcolo del tempo impiegato da un impulso sonoro a essere riflesso (a frequenze ultrasoniche)
- L'ecografia serve a costruire un'immagine (con frequenze dell'ordine del Mhz) e sfrutta la riflessione delle onde sonore alla superficie di separazione di materiali diversi

# Problemi

- Quando il suono passa dall'acqua all'aria, vi aspettate che cambi la lunghezza d'onda o la frequenza?
- La temperatura dell'aria influisce sul suono di un'organo a canne?
- Se sorgente e osservatore si muovono nella stessa direzione, ci sarà effetto Doppler?
- Quando un treno vi passa vicino fischiando, come varia la frequenza che udite?
- Come si può usare l'effetto Doppler in astronomia?



# Esercizi

- Stimare la potenza sonora di una persona che parla in una normale conversazione
- La canna di un organo è lunga  $112\text{ cm}$ . Qual è la frequenza fondamentale se è chiusa a una estremità o se è aperta a entrambe le estremità?
- La frequenza della sirena dei pompieri è  $1550\text{ Hz}$  se l'auto è ferma. Che frequenza percepiamo se l'auto si avvicina/allontana a una velocità di  $30\text{ m/s}$ ?