

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 m / s (a 0°C e 1 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
- I cani percepiscono gli ultrasuoni fino a 50000 Hz , i pipistrelli fino a 100000 Hz . E i capodogli?



Infrasuoni e ultrasuoni

- I suoni con frequenza minore di 20 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} 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

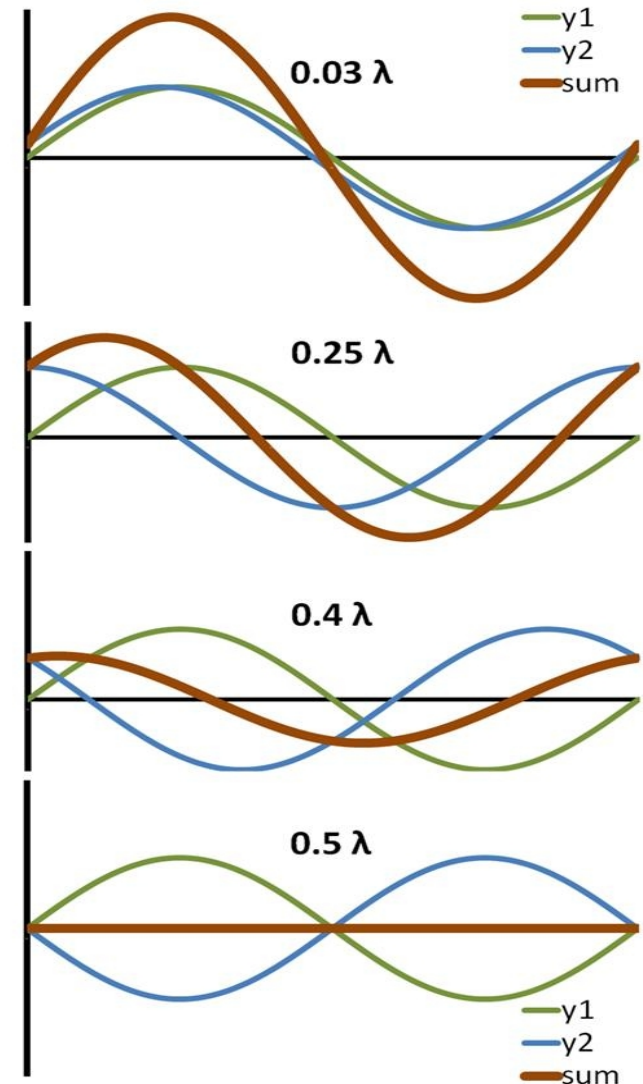
- Il suono è un'onda che origina da una vibrazione
- Il suono ha la stessa frequenza della vibrazione, ma lunghezza d'onda e velocità possono essere diverse
- Membrane: tamburo
- Vibrazioni di metalli: campane e gong
- Corde vibranti: violino, chitarra, pianoforte
- Colonne d'aria vibrante: organo, tromba,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

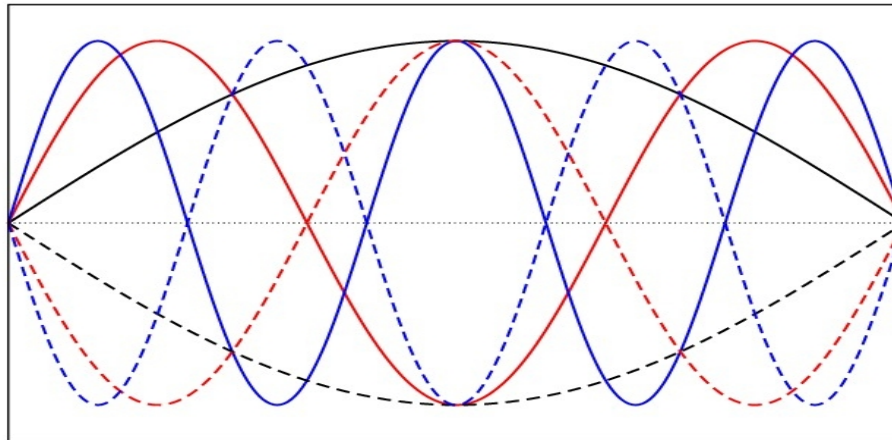


Risonanza

- 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, $2L=n\lambda$

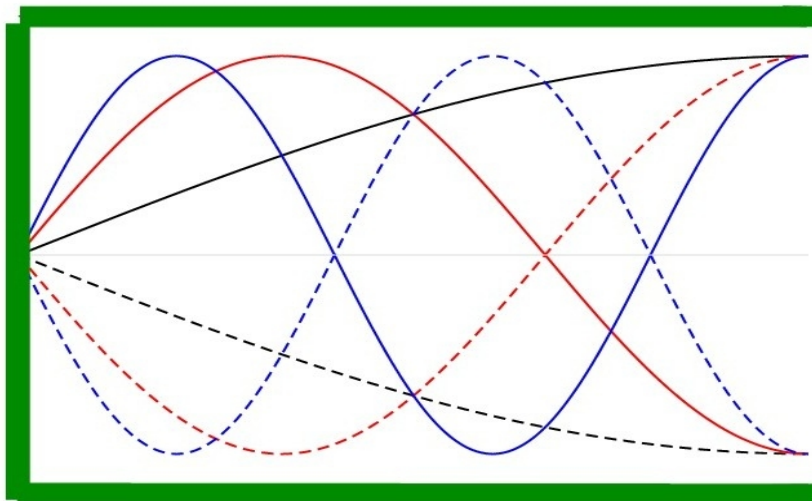


Estremi non fissi

- Possono essere uno fisso e uno no oppure entrambi liberi
- Negli estremi liberi la pressione deve essere nulla all'estremo, quindi lo spostamento massimo

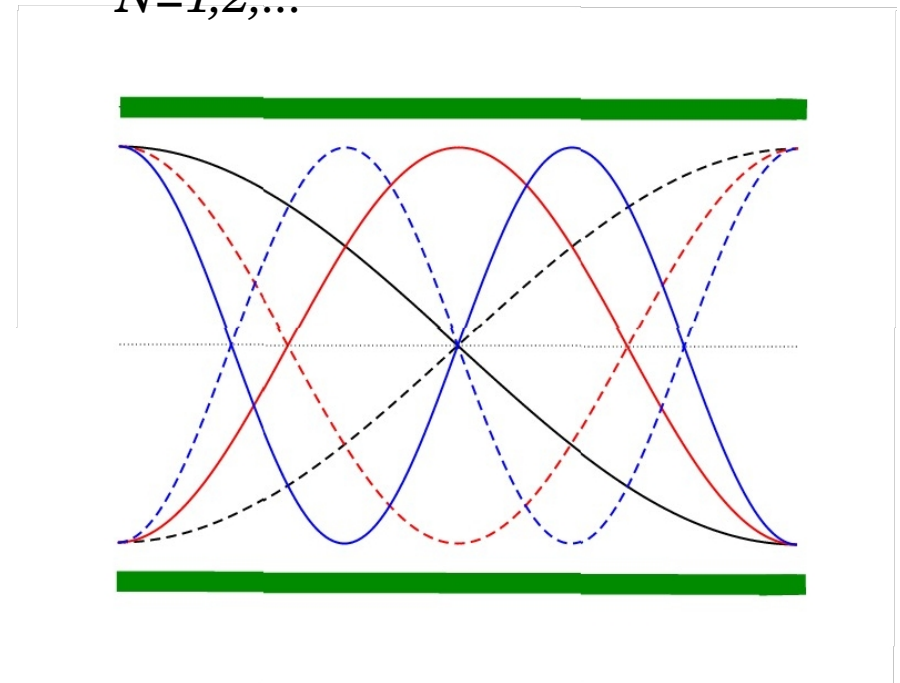
$$\lambda_N = 4L / (2N+1) \quad f_N = (2N+1)v / 4L$$

$N=0,1,2,\dots$



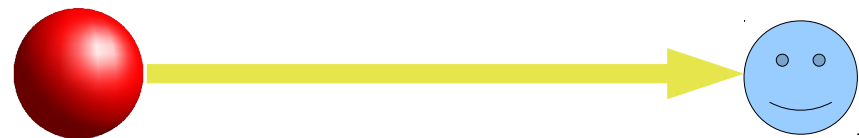
$$\lambda_N = 2L / N \quad f_N = N v / 2L$$

$N=1,2,\dots$



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
avvicinamento
- I due fronti d'onda arrivano a tempi $t_1=t+L/v_o$ e
 $t_2 = t + T + (L-v_s T) / v_o$
- $t_2 - t_1 = T' = T - v_s T / v_o = (1-v_s / v_o) T$
- $f' = f / (1-v_s / v_o)$

Rivelatore in movimento

- Se il rivelatore 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 $L - v_o T'$.

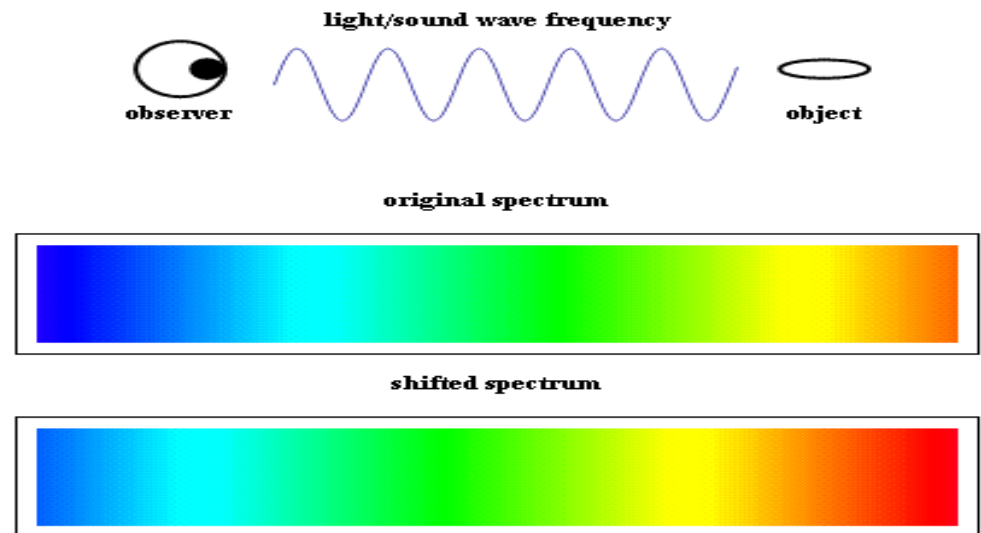
$$T' = (L - v_R T') / v_o - L / v_o + T$$

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

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

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
- L'effetto Doppler serve a misurare la velocità di oggetti celesti vicini e lontani



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?
- Quando un treno vi passa vicino fischiando, come varia la frequenza che udite?

Esercizi

- Stimare la potenza sonora di una persona che parla in una normale conversazione
- La canna di un organo è lunga 112 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 Hz se l'auto è ferma. Che frequenza percepiamo se l'auto si avvicina/allontana a una velocità di 30 m/s ?