Onde

Eugenio Barbieri Viale

January 5, 2025

Introduzione

Cos'è un'onda?

Un'onda è una perturbazione che si propaga nello spazio e trasporta energia senza che ci sia un trasporto di materia

Diversi tipi di onda

- **onda trasversale**: le particelle del mezzo in cui si propaga l'onda oscillano perpendicolarmente alla direzione di propagazione
- **onda longitudinale**: in un solido elastico, le particelle del mezzo in cui si propaga l'onda oscillano lungo la direzione di propagazione *(come il suono)*

Caratteristiche

$$\lambda = \text{lunghezza d'onda} = \text{distanza tra due creste}$$
$$T = \text{periodo} = \Delta t \text{ in cui viene compiuta un'oscillazione completa}$$
$$f = \text{frequenza} = \frac{1}{T}$$
$$v = \text{velocità di propagazione} = \frac{\lambda}{T} = \lambda f$$
$$v = \sqrt{\frac{F_t}{\mu}} \quad \text{con} \quad \mu = \frac{m}{L} = \text{densità lineare}$$

Descrizione matematica di un'onda

$$y = A \sin(\omega t \pm kx)$$
$$\text{dove} \quad \omega = \frac{2\pi}{T} \quad \text{e} \quad k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

- $+$ onda si propaga verso sinistra (*direzione* $-x$)
- $-$ onda si propaga verso destra (*direzione* $+x$)

Teorema di Fourier

enunciato: *Qualsiasi funzione periodica con frequenza f può essere scritta come somma di funzioni sinusoidali con frequenze che sono multipli di f*

Il suono

L'ampiezza massima

$$\Delta p_{max} = 2\pi f d v A$$

in cui f è la frequenza, d è la densità del mezzo, v è la velocità di propagazione dell'onda, A è lo spostamento massimo di una molecola dalla posizione di equilibrio

Velocità del suono in un gas

$$v_{suono} = \sqrt{\gamma k_b \frac{T}{m}}$$

$$\text{dove} \quad \gamma = \frac{c_p}{c_v}$$

- γ è il rapporto tra il calore specifico molare a pressione costante (c_p) e a volume costante (c_v)
- **gas monoatomico** $\rightarrow \quad \gamma = \frac{5}{3}$
- **gas biatomico** $\rightarrow \quad \gamma = \frac{7}{5}$

Intensità del suono

$$I = \frac{P}{A} = \left[\frac{W}{m^2}\right]$$

dove P è la potenza sonora che attraversa perpendicolarmente una data superficie, A è l'area della superficie

$$I = \frac{P}{4\pi r^2}$$

se la sorgente emette onde sonore in maniera isotropa vale questa relazione. La superficie A è quella di una sfera e r è il raggio di essa, ovvero la distanza dalla sorgente

$$I = \frac{\Delta p_{max}^2}{2dv}$$

$$I = 2\pi^2 f^2 d v A^2$$

Livello di intensità sonora

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

con I_0 la soglia minima di intensità sonora udibile

Effetto Doppler

$$f_r = f_s \frac{1}{1 - \frac{v_s}{v}} \rightarrow \text{sorgente si avvicina a ricevitore fermo } (f_r \textit{ aumenta)}$$
$$f_r = f_s \frac{1}{1 + \frac{v_s}{v}} \rightarrow \text{sorgente si allontana da ricevitore fermo} (f_r \textit{ diminuisce)}$$
$$f_r = f_s (1 + \frac{v_r}{v}) \rightarrow \text{ricevitore si avvicina a sorgente ferma } (f_r \textit{ aumenta)}$$
$$f_r = f_s (1 - \frac{v_r}{v}) \rightarrow \text{ricevitore si allontana da sorgente ferma } (f_r \textit{ diminuisce)}$$

Caso generale:

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

Interferenza

Si ha interferenza costruttiva nei punti di ampiezza massima, cioè quando:

$$2A \cos\left(\frac{\pi(x_2 - x_1)}{\lambda}\right) = \pm 1$$
$$\frac{\pi(x_2 - x_1)}{\lambda} = k\pi$$
$$\Delta x = k\lambda$$

Si ha invece interferenza distruttiva nei punti di ampiezza nulla, cioè quando:

$$2A \cos\left(\frac{\pi(x_2 - x_1)}{\lambda}\right) = 0$$
$$\frac{\pi(x_2 - x_1)}{\lambda} = \frac{\pi}{2} + k\pi$$
$$\Delta x = \frac{1}{2}(2k + 1)\lambda$$

x_1 e x_2 sono le distanze rispettive dalle sorgenti S_1 e S_2 del punto P.
$\Delta x = x_1 - x_2$ è quindi la differenza di cammino

Diffrazione

$$\sin\theta = \frac{\lambda}{D}$$

dove θ è l'angolo di diffrazione, D è la larghezza della fenditura attraverso la quale il suono passa

Battimenti

$$f_{bat} = |f_1 - f_2|$$

Onde stazionarie

Le onde stazionarie sono onde che non si propagano ma rimangono confinate in una regione

Trasversali

$$f_n = n\frac{v}{2L} \quad n = 1, 2, 3, \ldots$$

Queste frequenze costituiscono la serie armonica. Le onde hanno n ventri

Longitudinali

$$f_n = n\frac{v}{2L} \quad n = 1, 2, 3, \ldots$$

il tubo ha lunghezza L e ha le estremità aperte

$$f_n = (2n-1)\frac{v}{4L} \quad n = 1, 2, 3, \ldots$$

il tubo ha lunghezza L e ha un'estremità chiusa