



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TERAMO

Fisica

Medicina Veterinaria — Semestre
Aperto 2026

Prof. Francesco de Pasquale

Lezioni 36 e 37

Outline

Lezione 36

- Onde meccaniche: introduzione alla natura delle onde meccaniche come fenomeni di propagazione di energia e perturbazione attraverso un mezzo materiale
- Concetto di oscillatore armonico come modello base di generazione di onde
- Definizione di frequenza, periodo, pulsazione e lunghezza d'onda
- Velocità di propagazione delle onde e relazione tra i parametri ondulatori.

Lezione 37

- Equazione di propagazione per onde armoniche semplici.
- Esempi di onde monodimensionali: onde trasversali su una corda
- Onde longitudinali, come quelle sonore nei fluidi
- Principi di sovrapposizione e interferenza



Cos'è un'Onda?

Un'onda è una **perturbazione che si propaga nello spazio** trasportando energia — non materia. Il mezzo oscilla, ma non si sposta nella direzione di propagazione.

Energia sì, Materia no



Un gabbiano sul mare **sale e scende** al passaggio di un'onda, ma non si sposta orizzontalmente. È la dimostrazione visiva che l'onda trasporta **energia**, non massa.

Lo stesso principio vale nelle onde sonore che raggiungono l'orecchio di un cane: l'aria vibra localmente, la perturbazione si propaga da lontano.

Parametri Ondulatori

Le grandezze fisiche che descrivono un'onda quali densità, pressione, campo elettrico o magnetico variano periodicamente nel tempo e nello spazio, i.e., assumono gli stessi valori a intervalli regolari

Un esempio di grandezza periodica è la posizione in un moto circolare uniforme (**rivedi Lezione 3 Slides 18–22**) che è descritta tramite un **oscillatore armonico**

Ricordiamolo

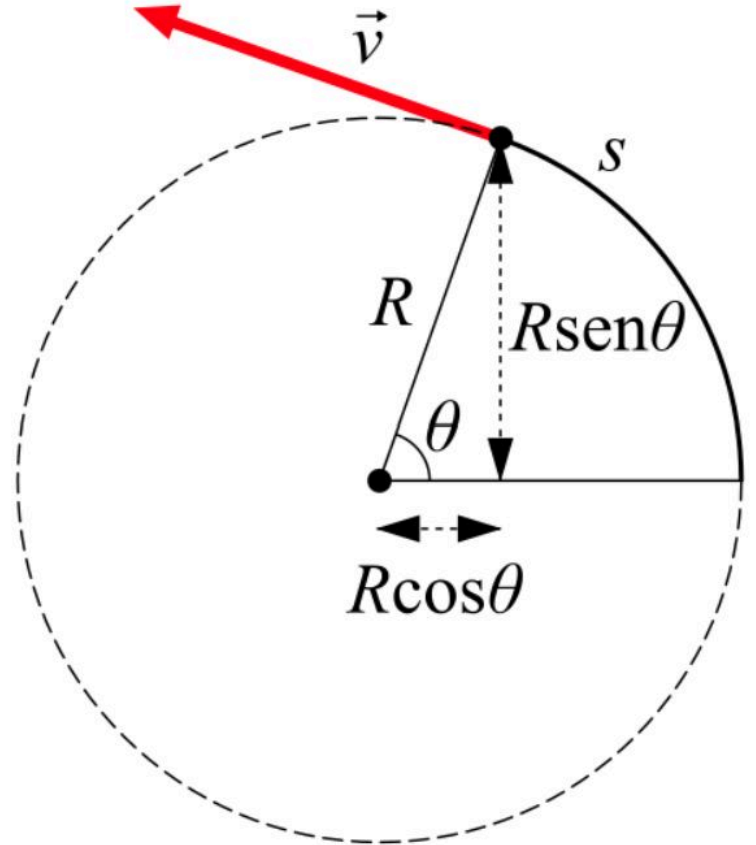
Riepilogo Moto Circolare Uniforme (MCU)

Definizione

Un corpo compie moto circolare uniforme (MCU) quando percorre una traiettoria circolare di raggio R con il modulo della velocità costante (solo il modulo) il vettore $\vec{v}$ **non è costante!**

Grandezze fondamentali

- Raggio: R (costante)
- Velocità scalare: $v = \text{const}$
- Periodo: T — tempo per un giro completo
- Frequenza: $f = 1/T$ — numero di giri al secondo [Hz]
- Velocità angolare: ω — angolo percorso per unità di tempo [rad/s]



la velocità è sempre tg alla circonf.

Riepilogo Moto Circolare Uniforme (MCU)

Periodo T

$$T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi}{\omega}$$

Frequenza f

$$f = \frac{1}{T} \quad [\text{Hz} = \text{s}^{-1}]$$

Velocità angolare ω

Angolo percorso nell'unità di tempo:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \quad \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right]$$

Inoltre $v = \omega \cdot R$

Posizione angolare

L'angolo θ percorso a partire da θ_0 cresce linearmente nel tempo:

$$\theta(t) = \theta_0 + \omega t$$

 ω costante  velocità angolare
uniforme: ogni secondo il corpo
percorre sempre lo stesso angolo ω
[rad].

L'oscillatore Armonico come modello base per generare onde

Un'onda meccanica nasce dalla vibrazione ripetuta di un oscillatore armonico — ogni punto del mezzo si comporta come una massa attaccata a una molla.

Il Modello oscillatore armonico deriva da:

$$F = -kx$$

$$ma = -kx$$

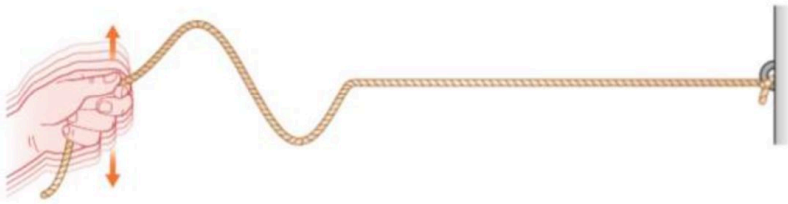
$$x(t) = A \sin(\omega t + \phi_0) \text{ con}$$
$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Oscillatore Armonico

La soluzione è un moto sinusoidale con pulsazione propria ω , ampiezza A e fase ϕ_0 .

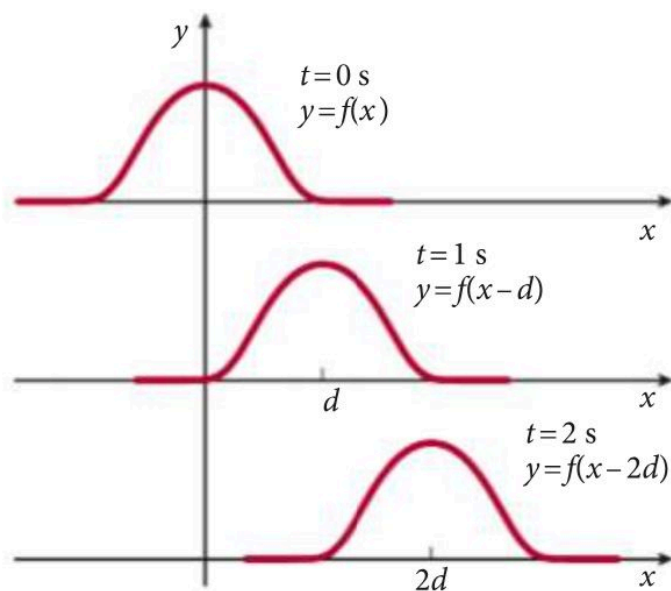
L'oscillatore Armonico come modello base per generare onde

Quando si imprime ad un mezzo elastico una deformazione locale di tipo oscillatore armonico questa si propaga nello spazio generando un'onda. Ad esempio, in una corda:



La perturbazione si propaga lungo asse x con velocità costante

Se $y = f(x)$ rappresenta il profilo della corda all'istante iniziale



Dopo un intervallo di tempo t questo profilo si sarà spostato lungo la corda di una distanza $d = vt$ mantenendo inalterata la propria forma.

Poiché la forma è invariata ma traslata di $d = vt$ sarà descritta da

$$y = f(x - d) = f(x - vt)$$

che rappresenta una perturbazione che si propaga verso destra. Analogamente, l'espressione

$$f(x + vt)$$

rappresenta la stessa perturbazione che si propaga verso sinistra con la stessa velocità

Onde armoniche

Lo spostamento y , che dipende sia dalla posizione x sia dal tempo t , è chiamato **funzione d'onda**:

$$y(x, t)$$

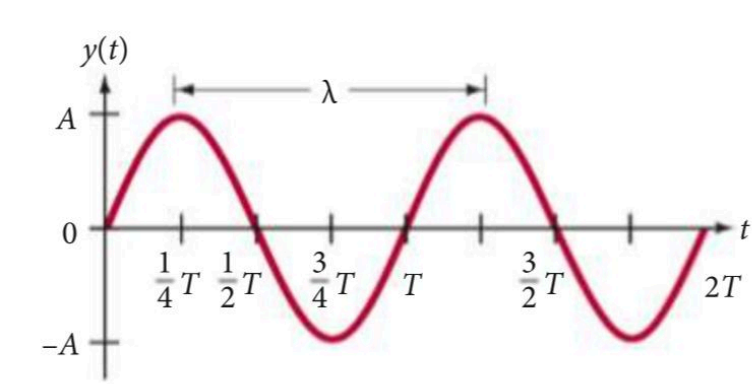
Un'espressione di questo tipo fornisce dunque una descrizione generale di una perturbazione che si propaga lungo l'asse x senza deformarsi, sia nel verso positivo sia in quello negativo.

Un'onda descritta da funzioni seno e coseno, come ad esempio $A \sin(\omega t + \phi_0)$ dell'oscillatore armonico, prende il nome di **onda armonica**, e rappresenta il caso più elementare di onda periodica, in cui ogni punto dello spazio oscilla in modo periodico attorno alla propria posizione di equilibrio.

In generale, un'onda periodica può essere straordinariamente complessa ma può sempre essere descritta mediante una somma di onde armoniche, i.e. funzioni seno e coseno (Teorema di Fourier).

Onde armoniche

Per determinare la funzione d'onda $y(x, t)$ che descrive un'onda armonica che si propaga nello spazio è necessario considerare tanto la sua evoluzione **temporale** (l'oscillazione) quanto la sua variazione **spaziale** (la propagazione).



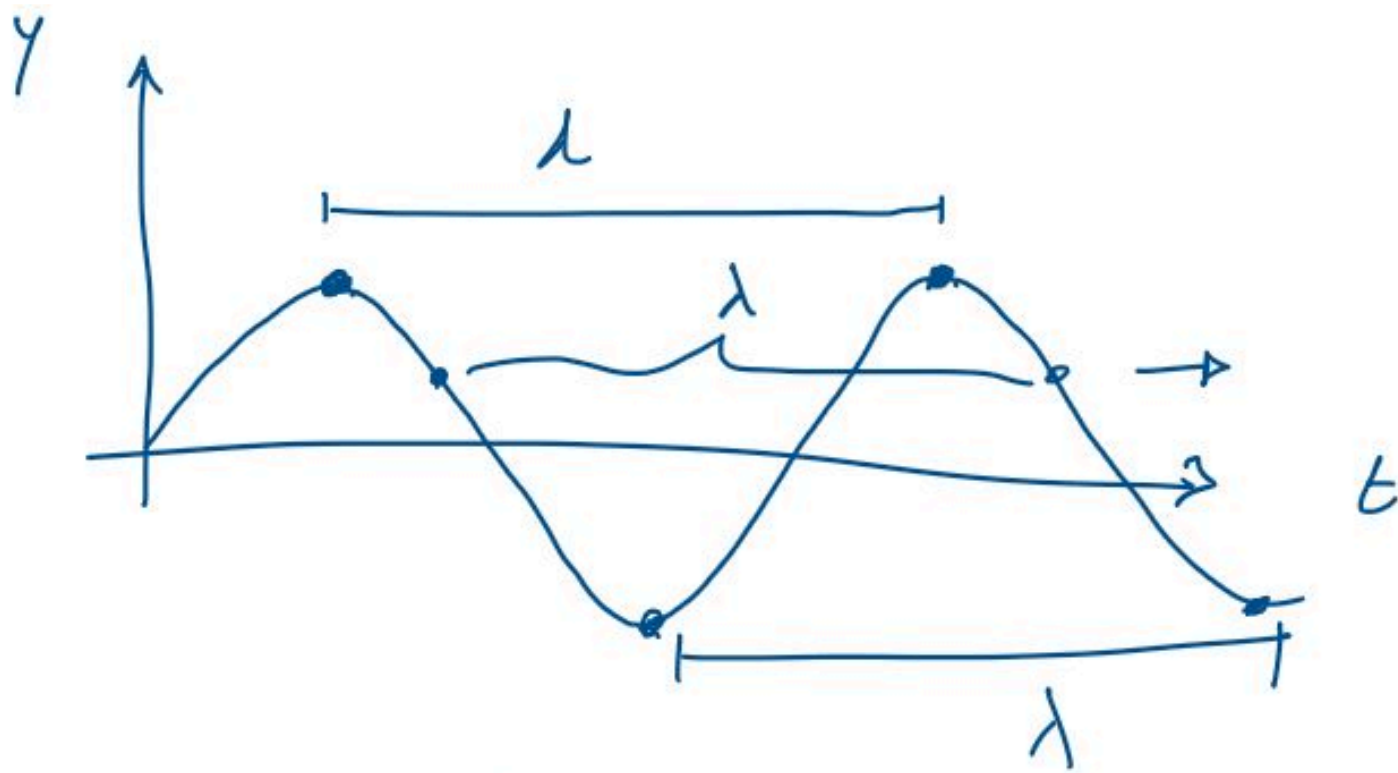
La **lunghezza d'onda** λ è definita come la minima distanza dopo la quale la perturbazione si ripete identica a sé stessa (ovvero il periodo spaziale dell'onda): si misura in metri (ma più spesso mediante multipli e sottomultipli del metro).

La frequenza di un'onda e la sua lunghezza d'onda rappresentano due aspetti complementari di una stessa realtà fisica e sono due grandezze fra loro inversamente proporzionali. L'onda, percorrendo una lunghezza d'onda λ in un periodo T , avrà velocità v pari a:

$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda f$$

da cui

$$f = \frac{v}{\lambda}$$



$\lambda =$ lunghezza d'onda

$$vT = \lambda$$

$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda f$$

$$f = \frac{v}{\lambda}$$

; $\lambda = \frac{v}{f}$

dove v viene detta **velocità di propagazione dell'onda**.

La **velocità di propagazione** dell'onda è la velocità con cui si sposta la perturbazione nel mezzo:

$$v = \lambda \cdot f = \frac{\lambda}{T}$$

La **velocità dipende dalle proprietà del mezzo!!!**

📄 Esempio: le onde ultrasoniche usate nell'ecografia veterinaria hanno frequenze tra 2 e 15 MHz — la velocità nei tessuti biologici è ~1540 m/s.

Alcuni valori tipici:

Aria

~343 m/s

Acqua

~1480 m/s

Osso

~3500 m/s

Acciaio

~5100 m/s

Onde armoniche

L'onda armonica sinusoidale è il "mattone fondamentale" di qualsiasi fenomeno ondulatorio



Ampiezza A

Massimo spostamento dalla posizione di equilibrio

Lunghezza d'onda λ

Distanza spaziale tra due creste consecutive [m]

Periodo T

Tempo per completare un'oscillazione completa [s]

Frequenza f

Numero di oscillazioni al secondo [Hz] — $f = 1/T$

L'Equazione di propagazione dell'Onda Armonica

Vediamo come costruire l'equazione di propagazione di onde armoniche.

Al tempo $t = 0$, se f deve essere sinusoidale scegliamo il seno e abbiamo:

$$y(x) = A \sin(kx) = A \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}x\right)$$

dove A è l'ampiezza dell'onda e $k = 2\pi/\lambda$ è definito il **numero d'onda**.

Il **numero d'onda** rappresenta l'analogo spaziale della pulsazione, ossia quantifica la rapidità di variazione spaziale dell'onda. Qualche esempio con $x=0$, $\lambda/4$, $\lambda/2$, λ .

L'**ampiezza dell'onda** è la differenza tra il valore massimo dell'onda e il suo valore di equilibrio; dato che A deve essere omogenea alla grandezza oscillante y , l'ampiezza si misura in metri (m).

Al tempo $t \neq 0$, se l'onda si muove verso destra con velocità v , la funzione d'onda diventa:

$$y(x, t) = f(x - vt) = A \sin \left[\frac{2\pi}{\lambda} (x - vt) \right]$$

Se $v = \frac{\lambda}{T}$, l'equazione precedente diventa:

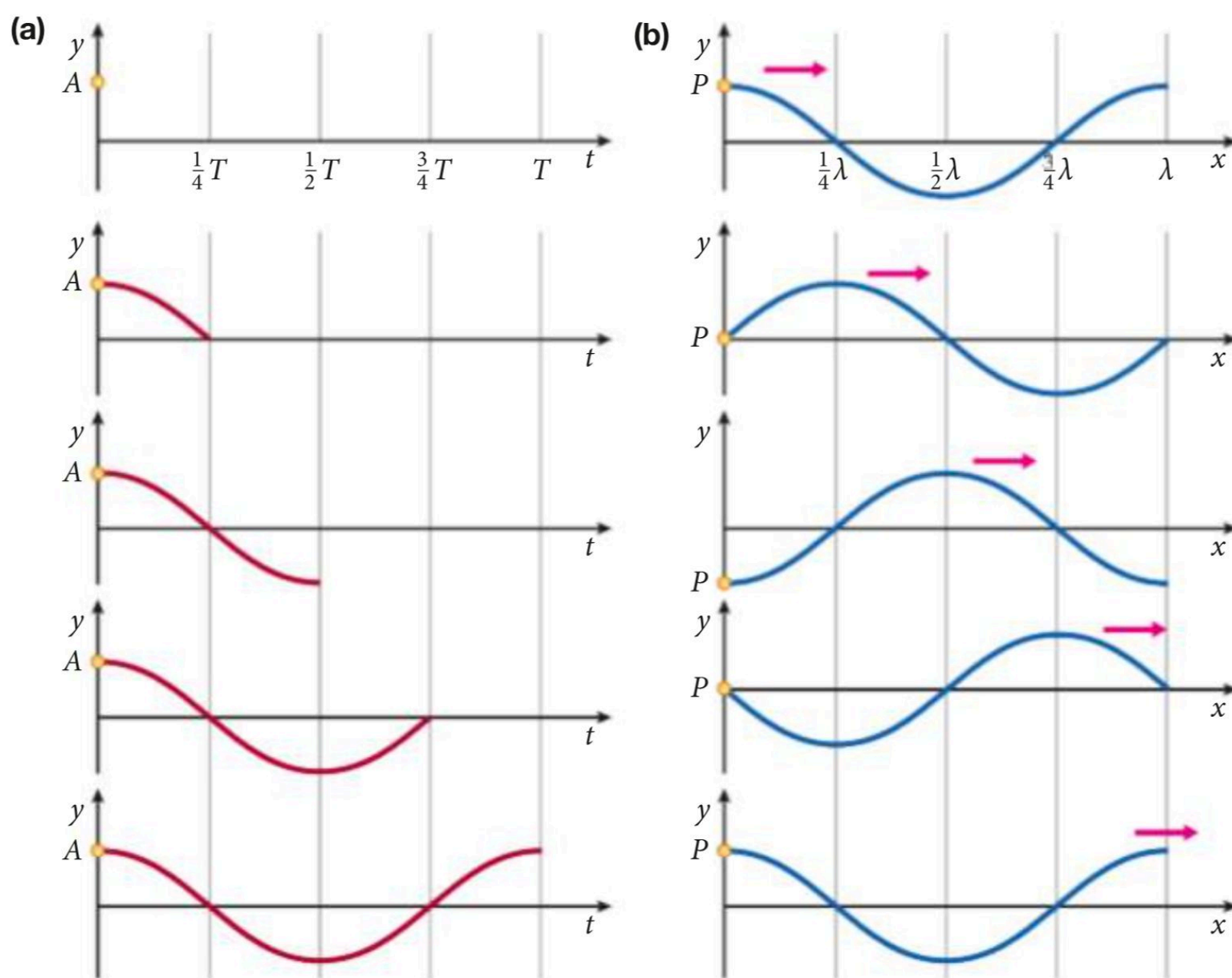
$$y(x, t) = A \sin \left[2\pi \left(\frac{x}{\lambda} - \frac{t}{T} \right) \right]$$

Fissato un istante t , la relazione ottenuta descrive la rappresentazione spaziale dell'onda, ossia il suo profilo in quell'istante di tempo. In modo analogo, fissata una posizione x , la stessa relazione fornisce la rappresentazione temporale dell'onda in quel punto.

$y(x, t)$ è **periodica** nel tempo e spazio:

A un tempo fissato t , la funzione assume gli stessi valori nelle posizioni $x, x + \lambda, x + 2\lambda$.

Analogamente, per una posizione fissata x , lo spostamento y si ripete identico agli istanti $t, t + T, t + 2T$, ecc.



Infine, possiamo tornare alla espressione originale in termini del **numero d'onda** k e della **pulsazione** ω :

$$y(x, t) = A \sin(kx - \omega t)$$

Ma attenzione! L'equazione precedente è valida nell'assunzione che lo spostamento sia 0 per $x = 0$ e $t = 0$. Se ciò non avviene, in generale si ha:

$$y(x, t) = A \sin(kx - \omega t + \varphi)$$

dove φ è la **fase iniziale** (ossia lo sfasamento al punto $x = 0$ al tempo $t = 0$), che, essendo un angolo, si esprime in radianti (rad).

A — Ampiezza

Massimo spostamento dal punto di equilibrio

k — Numero d'onda

$k = \frac{2\pi}{\lambda}$ — variazione di fase per unità di lunghezza

ω — Pulsazione

$\omega = 2\pi f$ — variazione di fase per unità di tempo

φ — Fase iniziale

Dipende dalle condizioni iniziali del problema

Esercizi (Tommasi)

Esercizio # 1052

$$v = 340 \text{ m/s}$$

$$\lambda = 0,17 \text{ m}$$

$$f = ?$$

- | | | | |
|----|--------|----|---|
| A) | 2000 | Hz | ← |
| B) | 20 | Hz | |
| C) | 200 | Hz | |
| D) | 20'000 | Hz | |
| E) | 0,5 | Hz | |

$$vT = \lambda$$

$$\frac{1}{T} = f = \frac{v}{\lambda}$$

$$f = \frac{v}{\lambda}$$

$$f = \frac{340}{0,17} = \frac{34 \cdot 10}{17 \cdot 10^{-2}} = \frac{34}{17} \cdot 10^3$$

$$f = 2 \cdot 10^3 \text{ Hz}$$

A) ✓

Esercizio # 1061

$$\lambda_1 = 2\lambda_2$$

- A) $v_1 = 4v_2$
- B) $v_1 = 2v_2$
- C) $v_1 = v_2$
- D) $2v_1 = v_2 \quad \leftarrow$
- E) $4v_1 = v_2$

$$\lambda_1 = \lambda_2$$

La velocità delle due onde è la stessa:

$$v_1 = v_2 \quad \Rightarrow \quad vT = \lambda \quad \Rightarrow \quad \frac{v}{\lambda} = 1 \quad \Rightarrow \quad \boxed{v = \lambda f}$$

$$v_1 = v_2 \quad \Rightarrow \quad \lambda_1 v_1 = \lambda_2 v_2$$

$$2\cancel{\lambda_2} v_1 = \cancel{\lambda_2} v_2$$

$$\boxed{v_2 = 2v_1}$$

D) ✓

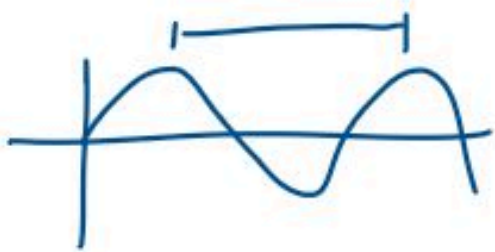
Esercizio # 1063

40 cm

$$v = 1500 \text{ m/s}$$

$$f = ?$$

- A) 7,5 kHz
- B) 75 kHz
- C) 375 kHz
- D) 750 Hz
- E) 3,75 kHz ←



$$\lambda = 40 \text{ cm} = 40 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$\lambda = 4 \cdot 10^{-1} \text{ m}$$

$$vT = \lambda$$

$$\frac{v}{f} = \lambda$$

$$\boxed{f = \frac{v}{\lambda}}$$

$$f = \frac{1500}{0,4} = \frac{15 \cancel{10^3} \cancel{10^4}}{4 \cancel{10^4}} 10^3 = 4 \cdot 10^3 \text{ Hz}$$

$$f = 4 \text{ kHz} \quad \text{E) } \checkmark$$

Onde Meccaniche Monodimensionali

Un'**onda meccanica** è la propagazione nello spazio e nel tempo di una perturbazione in un **mezzo materiale** (solido, liquido o gassoso), con trasmissione di energia **senza trasporto netto di materia**. Al contrario delle onde elettromagnetiche, le onde meccaniche non possono propagarsi nel vuoto.

⚡ In entrambi i casi, ogni punto del mezzo oscilla attorno alla propria posizione di equilibrio come un **oscillatore armonico** — è l'energia, non la materia, a viaggiare.

Onde Trasversali vs Longitudinali

Trasversali

Il mezzo oscilla **perpendicolarmente** alla direzione di propagazione.

Esempio: onde su una corda tesa, onde sismiche S, luce (EM).

Equazione d'onda:

$y(x, t) = A \sin(kx - \omega t + \Phi)$ con y perp alla direzione di pr.

Longitudinali

Il mezzo oscilla **parallelamente** alla direzione di propagazione.

Esempio: onde sonore in aria, onde sismiche P, ultrasuoni nei tessuti.

Equazione d'onda:

$s(x, t) = A \sin(kx - \omega t + \Phi)$ con s parall alla dir di pr.

Onde Trasversali su una Corda

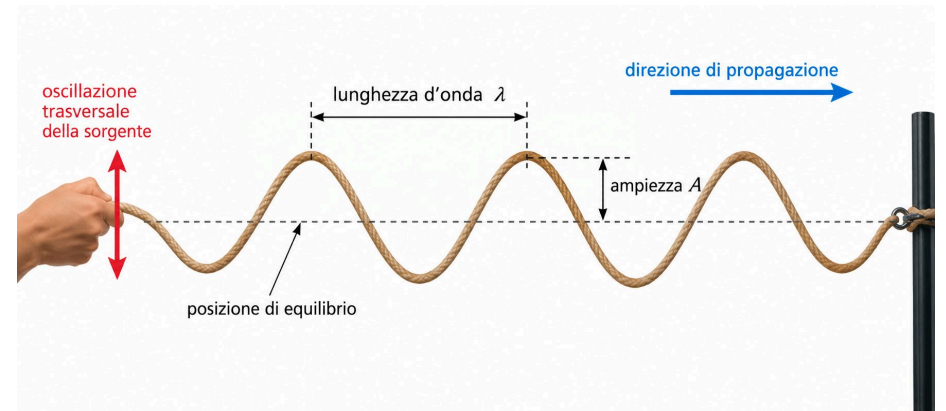
Una corda tesa è il modello più intuitivo di oscillatore armonico distribuito. Quando si imprime una perturbazione perpendicolare a un'estremità, ogni elemento della corda trascina il successivo: nasce un'onda trasversale.

Velocità di propagazione

La velocità dipende dalla tensione F_T e dalla densità lineare $\mu = m/L$ (massa per unità di lunghezza):

$$v = \sqrt{\frac{F_T}{\mu}}$$

Più la corda è tesa ($\uparrow F_T$) o più leggera ($\downarrow \mu$), più veloce si propaga l'onda.



Condizione al contorno

Se la corda è fissa agli estremi (lunghezza L), si formano onde stazionarie con nodi agli estremi. Le frequenze permesse sono:

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

Esempio biologico

Nelle corde vocali dei mammiferi, la tensione muscolare (F_T) e la massa delle corde (μ) determinano la frequenza fondamentale della voce. Animali più grandi $\rightarrow$ corde più pesanti $\rightarrow$ voce più grave.

Velocità tipiche

Corda di chitarra (acciaio): ~ 400 m/s. Corda vocale umana: $\sim 1\text{--}5$ m/s. La differenza dipende da tensione e densità lineare.

Onde Longitudinali nei Fluidi

Nei fluidi (gas e liquidi) le onde si propagano come **compressioni e rarefazioni** del mezzo, senza trasporto netto di materia.

Velocità di propagazione

La velocità dipende dal **modulo di compressibilità** B e dalla densità ρ :

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$$

Modulo di compressibilità

Misura la resistenza del fluido alla compressione. È definito come:

$$B = -\frac{\Delta p}{\Delta V/V}$$

dove Δp è la variazione di pressione e $\Delta V/V$ è la variazione volumetrica relativa. Il segno negativo indica che un aumento di pressione produce una riduzione di volume.

Valori tipici

Acqua — $B \approx 2.2 \times 10^9 \text{ Pa} \rightarrow v \approx 1480 \text{ m/s}$

Aria — $B \approx 1.4 \times 10^5 \text{ Pa} \rightarrow v \approx 343 \text{ m/s}$

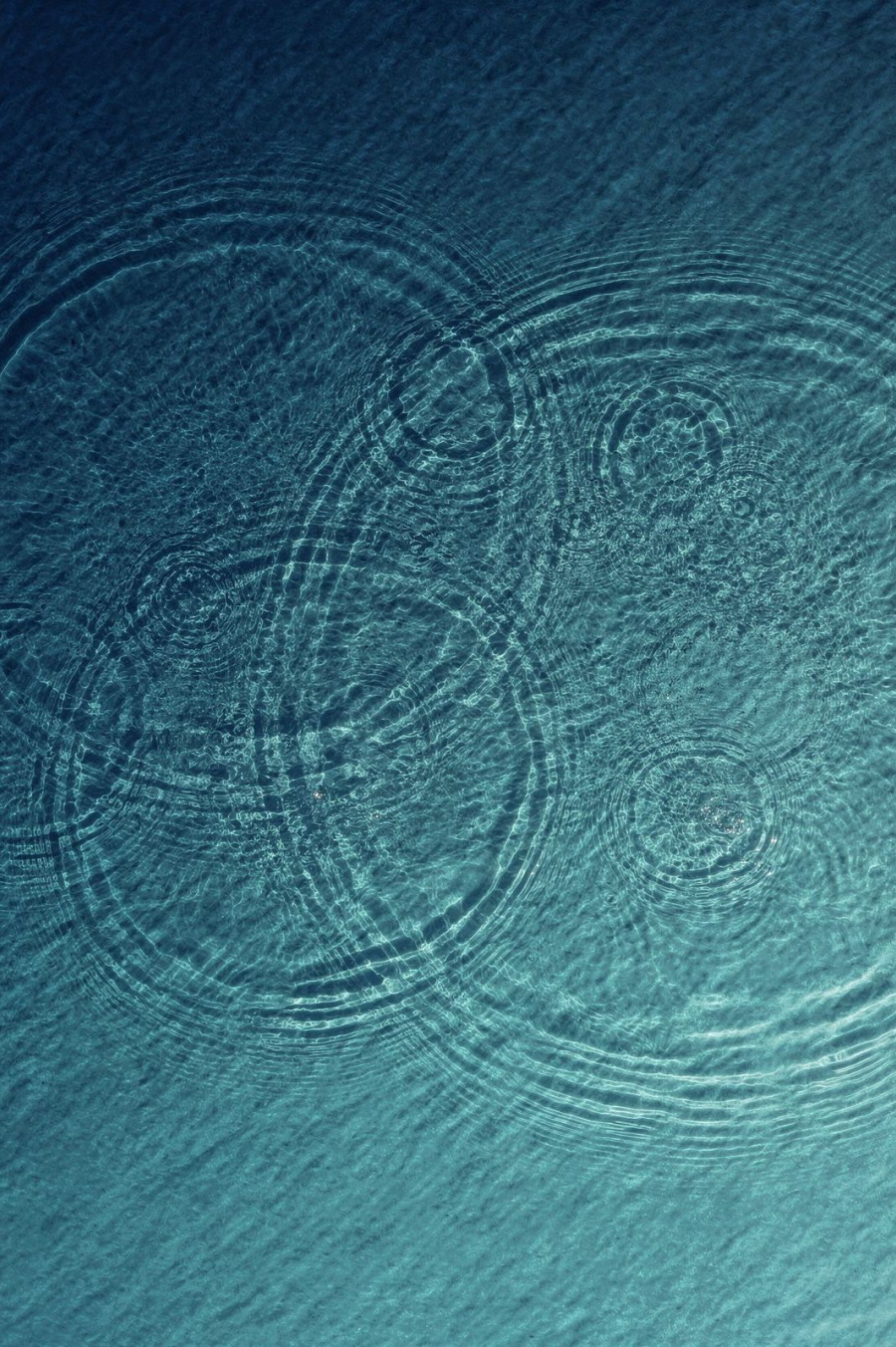


Nei polmoni del cavallo, l'aria trasporta le onde sonore che il veterinario ausculta con lo stetoscopio — un esempio di onda longitudinale in un fluido biologico.

Le **onde acustiche** nei fluidi biologici (sangue, tessuti, aria nei polmoni) saranno approfondite nelle prossime lezioni.

Sovrapposizione e Interferenza

Quando due onde si incontrano nello stesso mezzo



Principio di Sovrapposizione

Quando due o più onde si sovrappongono nello stesso mezzo, lo spostamento risultante è la **somma algebrica** degli spostamenti di ciascuna onda. Questo vale per onde di **piccola ampiezza** in mezzi elastici lineari.

$$y_{tot}(x, t) = y_1(x, t) + y_2(x, t)$$

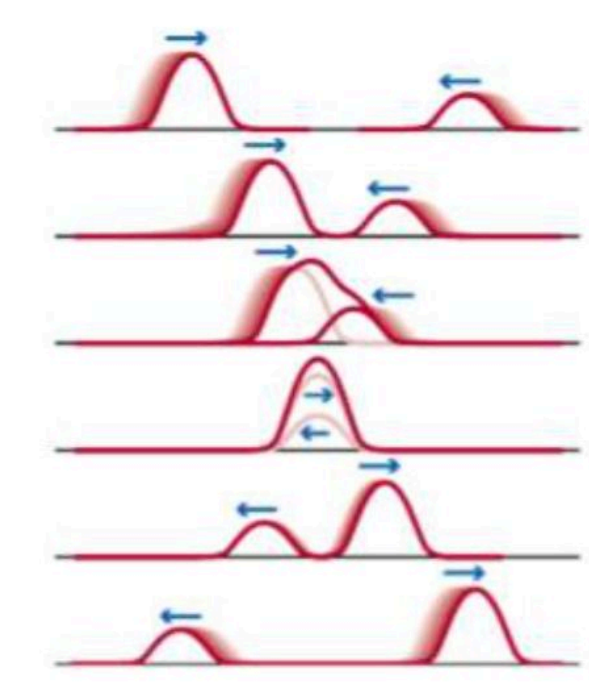
Principio di Sovrapposizione e Interferenza

La diretta conseguenza del fatto che le onde non trasportano materia ma solo energia è che le onde che interagiscono tra loro non si urtano ma si **sovrappongono**, per poi proseguire il loro cammino invariate.

Principio di sovrapposizione delle onde

Lo spostamento risultante in ciascun punto del mezzo è dato dalla somma vettoriale degli spostamenti che ciascuna onda produrrebbe se fosse sola (**sovrapposizione lineare**):

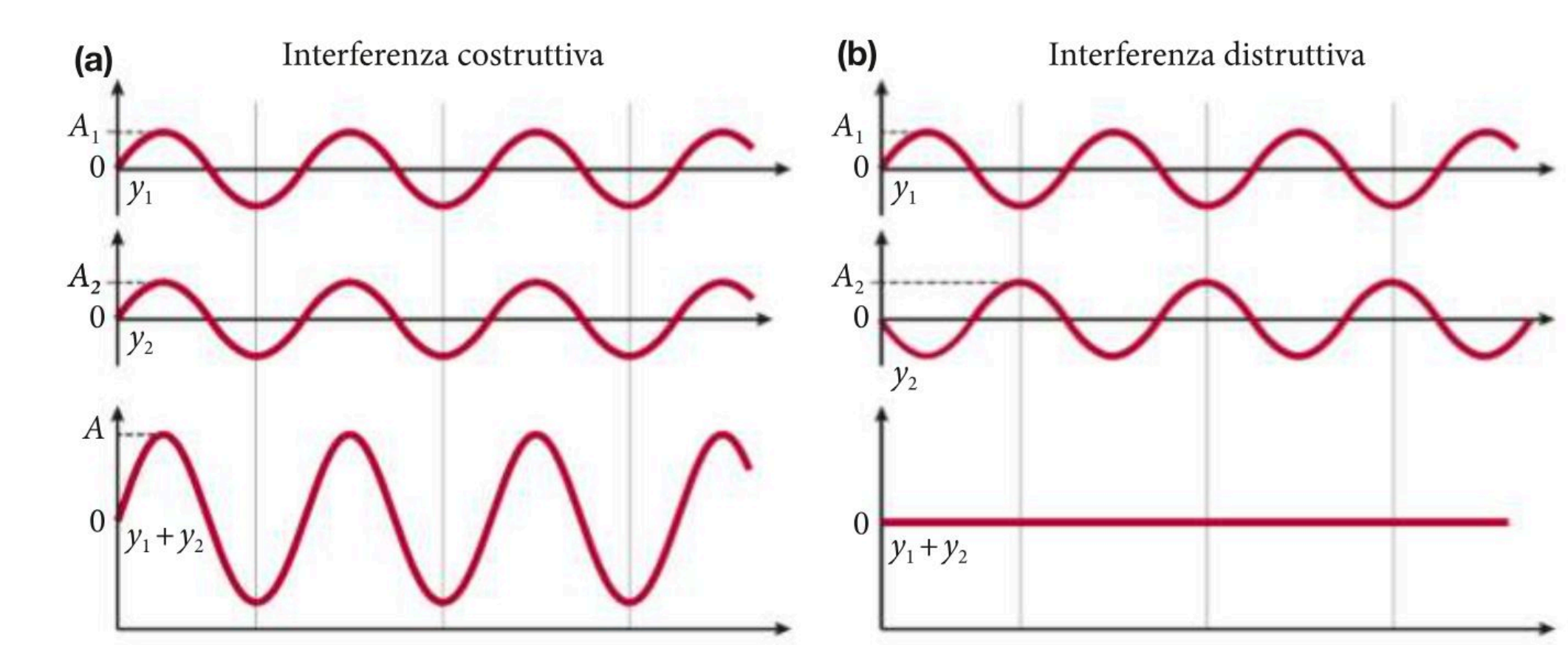
$$y(x,t) = y_1(x,t) + y_2(x,t)$$



Sequenza temporale: due impulsi si sovrappongono e proseguono invariati

Interferenza

Due onde che viaggiano l'una verso l'altra e si sovrappongono nello spazio danno origine a un fenomeno detto **interferenza**.



Interferenza costruttiva (onde in fase, ampiezza massima) e distruttiva (onde in opposizione di fase, ampiezza minima)

Onde Coerenti (differenza di fase costante)

Consideriamo la sovrapposizione di due onde armoniche della stessa frequenza che si propagano nella stessa direzione mantenendo una differenza di fase ($\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$) costante (**onde coerenti**):

Le due onde:

$$y_1(x,t) = A_1 \sin(kx - \omega t + \varphi_1)$$

$$y_2(x,t) = A_2 \sin(kx - \omega t + \varphi_2)$$

La **sovrapposizione** è di tipo **spaziale**: in un certo punto del mezzo si sommano le perturbazioni provenienti da due onde che percorrono cammini differenti ma oscillano con la stessa frequenza.

L'onda risultante è ancora un'onda armonica della stessa frequenza:

$$y_{\text{tot}}(x,t) = A_1 \sin(kx - \omega t + \varphi_1) + A_2 \sin(kx - \omega t + \varphi_2)$$

Nel caso di uguale ampiezza $A_1 = A_2 = A_0$, usando l'identità trigonometrica $[1 + \cos(\Delta\varphi) = 2 \cos^2(\Delta\varphi/2)]$:

$$y_{\text{tot}}(x,t) = A \sin(kx - \omega t + \varphi) = \left| 2A_0 \cos \frac{\Delta\varphi}{2} \right| \sin(kx - \omega t + \varphi)$$

con ampiezza risultante:

$$A = \left| 2A_0 \cos \frac{\Delta\varphi}{2} \right|$$

Riepilogando:

$$y_{\text{tot}}(x, t) = A \sin(kx - \omega t + \varphi) = \left| 2A_0 \cos \frac{\Delta\varphi}{2} \right| \sin(kx - \omega t + \varphi)$$

con ampiezza risultante:

$$A = \left| 2A_0 \cos \frac{\Delta\varphi}{2} \right|$$

Condizioni di interferenza



Interferenza Costruttiva

Le onde sono **in fase**:

$\Delta\varphi = 2n\pi$, con n intero

Ampiezza risultante **massima**:

$$A = 2A_0$$



Interferenza Distruttiva

Le onde sono **in opposizione di fase**:

$\Delta\varphi = (2n + 1)\pi$

Ampiezza risultante **nulla**:

$$A = 0$$



Caso Intermedio

Per qualsiasi altro valore di $\Delta\varphi$, l'ampiezza risultante è:

$$A = \left| 2A_0 \cos \frac{\Delta\varphi}{2} \right|$$

con $0 < A < 2A_0$

Differenza di Cammino Geometrico

È utile introdurre la **differenza di cammino geometrico** Δx . Lo sfasamento nel punto di osservazione (se le fasi iniziali sono uguali come ad esempio quando è la stessa onda riflessa) è:

$$\Delta\varphi = k\Delta x = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta x$$

dove $k = 2\pi/\lambda$ è il numero d'onda. Ora, una differenza di cammino pari a una lunghezza d'onda (λ) corrisponde a uno sfasamento di un intero ciclo (2π), quindi

1	Interferenza Costruttiva $\Delta x = n\lambda$, con $n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$
2	Interferenza Distruttiva $\Delta x = (n + 1/2)\lambda$, con $n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$

Riepilogo della Lezione

Onde Meccaniche — Lezione 36

1	Oscillatore Armonico Ogni punto del mezzo oscilla come una massa su molla. È il mattone fondamentale di ogni onda meccanica: $x(t) = A \cos(\omega_0 t + \varphi)$, con $\omega_0 = \sqrt{(k/m)}$.
2	Funzione d'onda $y(x,t) = A \sin(kx - \omega t + \varphi_0)$ descrive lo spostamento di ogni punto del mezzo in funzione di posizione e tempo.
3	Parametri ondulatori Ampiezza A, lunghezza d'onda λ, periodo T, frequenza f, numero d'onda $k = 2\pi/\lambda$, pulsazione $\omega = 2\pi f$. Relazione fondamentale: $v = \lambda f$.
4	Onde trasversali e longitudinali Trasversali: oscillazione $\perp$ propagazione (corde, onde S sismiche). Longitudinali: oscillazione $\parallel$ propagazione (suono, onde P). Velocità: $v = \sqrt{(F_T/\mu)}$ per corde, $v = \sqrt{(B/\rho)}$ per fluidi.
5	Sovrapposizione e Interferenza Principio di Sovrapposizione: quando due onde si incontrano nello stesso mezzo, lo spostamento risultante è la somma algebrica degli spostamenti individuali. Le onde si sovrappongono e poi proseguono indisturbate. Interferenza: l'ampiezza risultante dipende dallo sfasamento $\Delta\varphi$ tra le onde: $y_{tot}(x,t) = 2A_0 \cos(\Delta\varphi/2) \sin(kx - \omega t + \varphi)$. Interferenza costruttiva: $\Delta\varphi = 2n\pi \rightarrow A = 2A_0$ (onde in fase). Interferenza distruttiva: $\Delta\varphi = (2n + 1)\pi \rightarrow A = 0$ (onde in opposizione di fase). Differenza di cammino geometrico: $\Delta\varphi = k\Delta x = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta x$; costruttiva se $\Delta x = n\lambda$, distruttiva se $\Delta x = (n + \frac{1}{2})\lambda$.

💡 Il filo conduttore: ogni fenomeno ondulatorio — dal suono alla luce, dall'ecografia al Doppler — nasce dalla vibrazione di oscillatori armonici accoppiati.

Domande di Autovalutazione

Domanda 1 — Oscillatore armonico

Un punto di una corda vibra con ampiezza $A = 2$ cm e frequenza $f = 100$ Hz. Scrivi l'espressione dello spostamento $y(0, t)$ e calcola la pulsazione ω . Qual è la velocità massima del punto?

Domanda 2 — Funzione d'onda

Un'onda armonica ha lunghezza d'onda $\lambda = 0.4$ m e frequenza $f = 200$ Hz. Calcola: il numero d'onda k , la pulsazione ω e la velocità di propagazione v .

Domanda 3 — Onde trasversali

Una corda di massa $m = 50$ g e lunghezza $L = 2$ m è tesa con forza $F_T = 80$ N. Calcola la velocità di propagazione dell'onda trasversale. Se la frequenza è 60 Hz, qual è la lunghezza d'onda?

Domanda 6 — Applicazione veterinaria

Le corde vocali di un cane hanno lunghezza $L = 1.5$ cm e frequenza fondamentale $f_1 = 500$ Hz. Stima la velocità di propagazione dell'onda nelle corde vocali. Come cambia f_1 se il cane aumenta la tensione muscolare del 20%?