



# Fisica – Lezione 5

## *Oscillazioni*

Maurizio Tomasi ([maurizio.tomasi@unimi.it](mailto:maurizio.tomasi@unimi.it))

Lunedì 3 novembre 2025



# Introduzione all'argomento di oggi

- Studieremo i moti oscillatori e ne vedremo i tipi più importanti
- Introduurremo i concetti di “periodo” e di “frequenza”
- Introduurremo il concetto di “onda”



# Inquisitori accademici onorari



# Oscillazioni



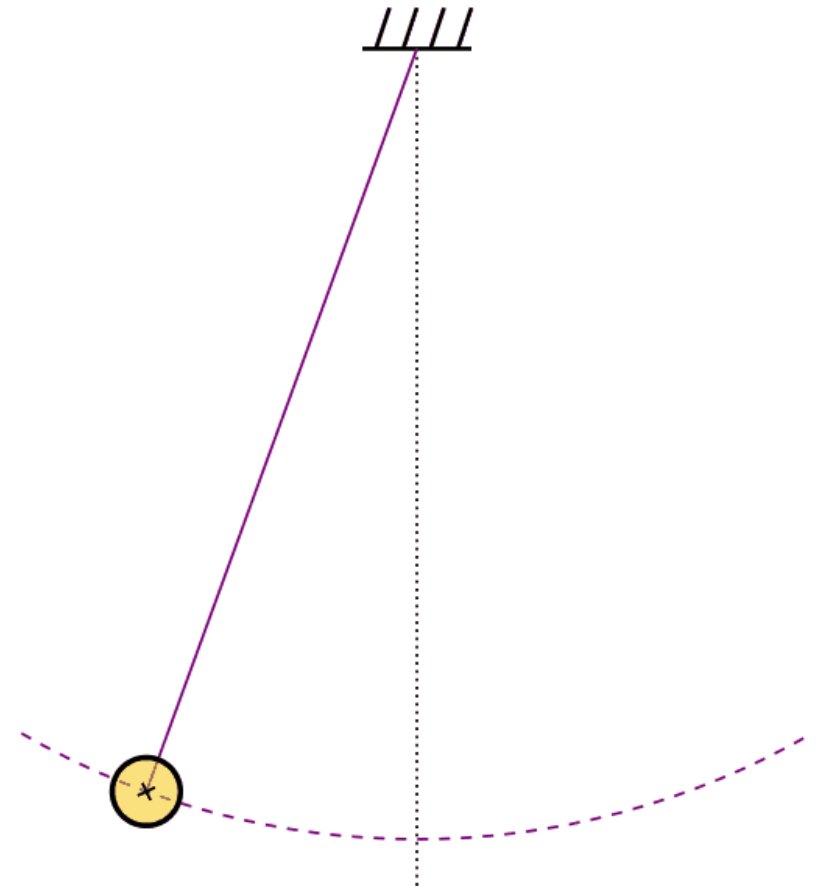
# Cos'è un'oscillazione?

- Un'oscillazione è un movimento periodico di un corpo che si sposta tra due posizioni estreme
- Semplificando, è un moto “avanti e indietro” che si ripete
- Alcuni esempi:
  - Altalena
  - Pendolo di un orologio
  - Corda di una chitarra



# Oscillazioni e forze

- Evidentemente le oscillazioni sono possibili solo se è in gioco qualche forza!
- Perché un corpo torni indietro, è infatti necessario che una forza lo faccia decelerare fino a fermarlo, per poi farlo tornare indietro
- Le forze adatte allo scopo sono molte:
  - Elastiche (molla)
  - Gravitazionale (altalena, pendolo)
  - Etc.





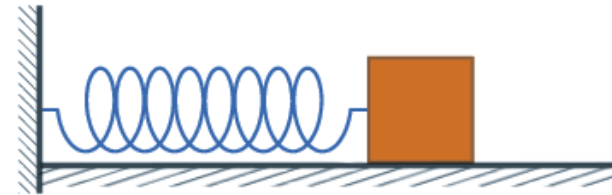
# Forze elastiche

- Le forze elastiche sono ovviamente quelle associate all'energia elastica  $E_e$  che avevamo visto [nella scorsa lezione](#)
- Quando un corpo elastico viene deformato da una forza esterna, esso cerca di riportarsi alla forma originaria
- Esempi:
  - Elastici da cucina
  - Molle degli orologi
  - Strumenti musicali a corda (violino, chitarra, arpa, pianoforte...)



# Forze elastiche

- Una forza elastica:
  - Richiama verso **sinistra** quando il corpo è deformato verso destra
  - Richiama verso **destra** quando il corpo è deformato verso sinistra
- Ovviamente potete sostituire a destra/sinistra anche alto/basso, avanti/indietro... Il concetto resta sempre lo stesso







# Energia elastica

- In termini di energia:
  - Quando si allunga/comprime una molla, si accumula energia elastica
  - Rilasciandola, l'energia elastica si converte in energia cinetica
  - Nel caso ideale, l'energia elastica e cinetica continuano a convertirsi tra loro, mantenendo la somma uguale



Imposta l'allungamento iniziale, poi premi *Start*. L'energia totale rimane costante e la barra mostra la partizione tra energia elastica ( $E_e$ ) e cinetica ( $E_c$ ).

Allungamento iniziale A (m): 0.20

Massa (kg): 1.0

Costante k (N/m): 1

**Start** **Reset**



Energia elastica Energia cinetica



t = 0.00 s	x = 0.20 m	v = 0.00 m/s	U = 0.02 J
K = 0.00 J	E = 0.02 J (costante)		



# Il pendolo

- Quando spostiamo la massa di un pendolo, la gravità tenta di tirarla verso il basso...
- ...ma l'asta la costringe a muoversi lungo un arco
- La combinazione della gravità e dell'asta fa sì che nel punto più basso la spinta della gravità si annulla, mentre è massima agli estremi: proprio come una molla!
- Attenzione: non c'è energia elastica ma potenziale gravitazionale! Però la forma del movimento e il comportamento della forza sono gli stessi di una molla





# Periodo e frequenza

- Il tempo perché un pendolo o una molla faccia un'oscillazione completa è detto **periodo**, e di solito si indica con  $T$  (il **semiperiodo** è invece  $T/2$ ).
- Viene molto usata anche la quantità inversa, la **frequenza**  $\nu$ :

$$\nu = \frac{1}{T} \quad \Rightarrow \quad T = \frac{1}{\nu}.$$

- Nel SI, il periodo si misura in secondi e la frequenza in  $s^{-1}$ . L'unità  $s^{-1}$  viene indicata anche con il simbolo Hz ("Hertz")
- **Trucco pratico:** Un numero in Hertz dice quante oscillazioni si compiono in un secondo.



# Esempi di periodi e frequenze



# Il diapason

- Il diapason è uno strumento che si usa per accordare gli strumenti musicali
- È fatto da una forcella metallica, dimensionata in modo da oscillare 440 volte al secondo
- La frequenza di oscillazione è quindi 440 Hz, e il periodo è

$$T = \frac{1}{\nu} = \frac{1}{440 \text{ Hz}} \approx 0,0023 \text{ s} = 2,3 \text{ ms.}$$





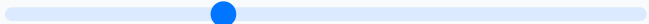
# L'orologio a pendolo

- Un diapason oscilla sempre a 440 Hz: non può oscillare ad un'altra frequenza!
- Già Galileo Galilei scoprì che questo è vero anche per un pendolo: **a patto di non fargli fare movimenti troppo ampi**, il suo periodo resta sempre lo stesso
- Galileo stabilì che l'unico mezzo per variare il periodo di un pendolo è accorciare o allungare la corda
- (No, aumentare o diminuire la massa non cambia il periodo!)
- È questo che rende possibile l'esistenza degli orologi a pendolo



Lunghezza del pendolo (L):

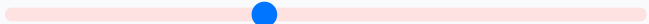
0.60 m



Controlla il periodo dell'oscillazione ( $T = 2\pi\sqrt{L/g}$ ).

Ampiezza iniziale ( $\theta_0$ ):

0.20 rad



Angoli piccoli ( $\leq 0,35$  rad) rendono vera l'approssimazione di Galileo

### Misura del periodo

Periodo teorico (formula di Galileo): 1.554 s

Periodo misurato: Sto misurando...



Avvia



Reimposta posizione

Pronto per partire.

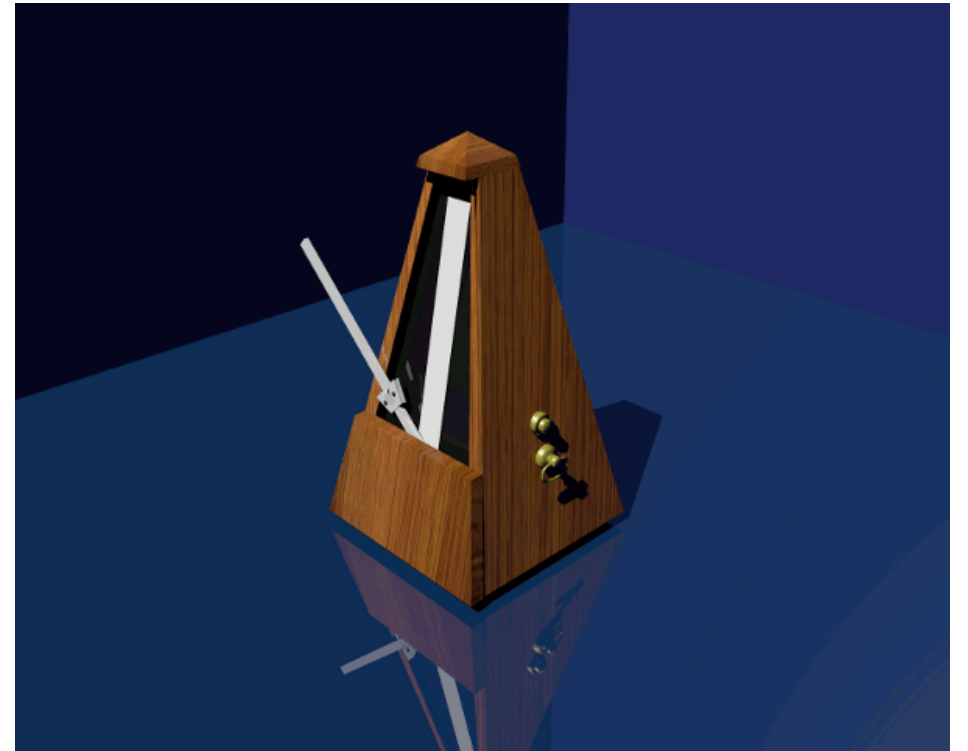






# Il metronomo

- A differenza del diapason e dei pendoli, la frequenza del metronomo è aggiustabile mediante un cursore mobile
- Se siete curiosi, [questo video](#) spiega il suo funzionamento
- I numeri del metronomo non indicano gli Hertz, ma i “battiti al minuto”
- Per un *Allegro vivace* potreste scegliere 120 battiti al minuto, che corrisponde a  $T = 0,5 \text{ s}$  e  $\nu = 2 \text{ Hz}$ .





# Il pianoforte

- Il pianoforte copre circa sette ottave: la corda più grave ( $La_0$ ) oscilla a 27 Hz, quella più acuta ( $Do_8$ ) a 4.190 Hz!
- Ad ogni ottava la frequenza raddoppia:

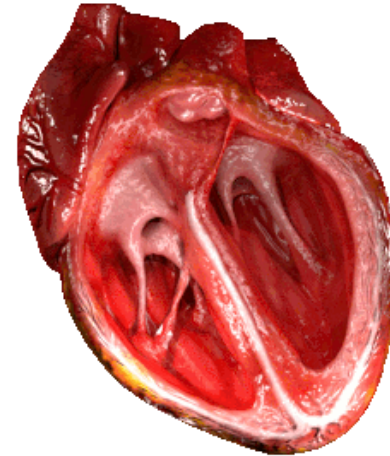
Nota	Frequenza (Hz)
$La_0$	27,5
$La_1$	55,0
$La_2$	110,0





# Il cuore umano

- Il battito cardiaco a riposo è di circa 60 pulsazioni al minuto
- Il periodo è quindi  $T = 1 \text{ s}$ , e la frequenza è  $\nu = 1 \text{ Hz}$
- Per curiosità, il battito a riposo di un colibrì è di 600 pulsazioni al minuto, quindi  $T = 0,1 \text{ s}$  e  $\nu = 10 \text{ Hz}$ .





# Terremoti

- Il periodo di oscillazione di un'onda sismica è molto variabile
- Nell'immagine a fianco ([terremoti del 2010–2011 a Christchurch, in Nuova Zelanda](#)) si può stimare che il periodo dell'onda fosse inferiore al secondo, quindi  $1 \text{ Hz} < \nu < 10 \text{ Hz}$ .





# Giostra

Provate a stimare il periodo e la frequenza di questa giostra:



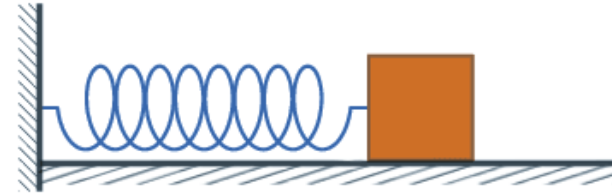


# Tipi di moti oscillatori



# Oscillazioni libere

- Le “oscillazioni libere” sono tutte quelle oscillazioni originate da una forza che, dopo aver dato un impulso iniziale, cessa di operare
- In seguito a quell’impulso, l’oscillazione continua grazie alla sola forza elastica
- Il moto di un pendolo o di una molla è solo in prima approssimazione libero







# Oscillazioni smorzate

- Nella realtà, ci sono sempre altre forze in gioco che fermano le oscillazioni: un'altalena, se non spinta periodicamente, si ferma!
- È quindi impossibile avere un'oscillazione libera **perpetua**
- Quali sono queste forze aggiuntive che impediscono alle oscillazioni di continuare?





# Arresto di un'altalena

- Le forze che arrestano un'altalena sono le seguenti:
  - L'attrito dell'aria in cui è immersa l'altalena
  - Il non perfetto scorrimento delle sospensioni (catene o corde) intorno ai perni
- Queste forze convertono l'energia cinetica e potenziale dell'oscillazione in **calore**, che si disperde sia nell'aria che nelle sospensioni





# Forze viscosse

- L'attrito dell'aria è una cosiddetta **forza viscosa**
- Le forze viscosse intervengono quando un corpo si muove, mentre sono nulle se il corpo è fermo
- In altre parole, più velocemente un corpo si muove, più intense sono le forze viscosse, secondo la formula

$$F = -cv,$$

dove il segno meno indica che la forza si oppone sempre alla velocità, e  $c$  è un coefficiente che dipende dalla viscosità del fluido, dalle dimensioni del corpo e dalla sua forma.



# Forze viscosse

- Il coefficiente  $c$  ha queste unità di misura:

$$c = \frac{F}{v} \quad \Rightarrow \quad [c] = \text{kg/s}.$$

Non sforzatevi di ricavarne un senso profondo: è più facile pensare che sono semplicemente derivate dalla definizione di  $c$ !

- Più è grande  $c$ , più resistenza oppone il fluido in cui si muove il corpo: il miele offre più resistenza dell'acqua!



# Corpi in caduta nell'aria

- Un corpo in caduta aumenta la sua velocità di  $10 \text{ m/s}$  ogni secondo che passa. Ma dopo un certo tempo la forza viscosa dell'aria arriva a bilanciare quella di gravità, rendendo la velocità costante
- Grazie all'aria, la velocità delle gocce di pioggia non supera gli  $8 \text{ m/s}$ : senza di essa l'impatto a terra sarebbe come quello di una palla da bowling che cade da  $1 \text{ m}$ !
- I paracadute funzionano perché  $c$  è grande





# Oscillazioni smorzate

- Un oscillatore che subisce una forza viscosa rallenta progressivamente il suo moto
- Se non intervengono forze, l'oscillazione è destinata ad interrompersi dopo un certo tempo
- Un esempio è una molla che oscilla in un fluido: potete pensare all'aria, ma è più efficace se pensate alla molla immersa sott'acqua



# Smorzamento critico

- Se le forze che si oppongono all'oscillazione sono intense, il corpo potrebbe non oscillare proprio!
- Quello che succede è che la molla torna alla posizione di riposo, e non la oltrepassa: si ferma e da lì non si muove più
- Questo è desiderabile in certi casi: ad esempio, gli ammortizzatori delle auto realizzano uno smorzamento critico per evitare che le sospensioni dell'auto oscillino troppo dopo una buca





# Smorzamento critico

- Si può calcolare (ma è complicato!) quanto deve valere  $c$  per avere uno smorzamento critico; il risultato è

$$c_{\text{crit}} = 2\sqrt{km},$$

dove  $k$  è la costante della molla e  $m$  è la massa del corpo attaccato alla molla.

- Se  $c$  è maggiore di questo valore critico, non si hanno oscillazioni



Massa  $m$  [kg] 1.00



Costante elastica  $k$  [N/m] 10.0



Smorzamento  $c$  [kg/s] 0.60



Allungamento iniziale  $x_0$  [m] 1.50



Velocità iniziale  $v_0$  [m/s] 0.00



Smorzamento critico  $c_{\text{crit}} = 6.325$  kg/s

Avvia

Pausa

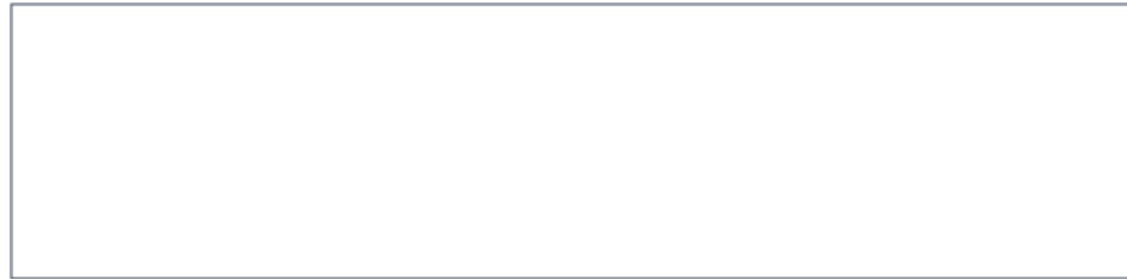
Reset

$E(t) = \frac{1}{2} k x^2 + \frac{1}{2} m v^2 \rightarrow 0$  quando  $x, v \rightarrow 0$ .



Energia potenziale + cinetica  $E(t)$  [J]. Quando il corpo si arresta,  $E \rightarrow 0$ .

$E$  [J]







# Risonanza



# Risonanza

- Di solito, se si mette in moto un sistema oscillante, si desidera che l'oscillazione continui! (Non è il caso delle sospensioni delle auto...)
- Senza un meccanismo che impedisca lo smorzamento dell'oscillazione, un orologio o un metronomo sarebbero ben poco utili!
- Per poter vincere le forze viscosi e di attrito (che “degradano” l'energia), è necessario fornire periodicamente energia:
  - Tramite una molla (metronomo, orologio a molla)
  - Tramite una batteria (orologio al quarzo)



● posizione  $x(t)$

Avvia Pausa Reset

Impulso singolo  $J \text{ (kg}\cdot\text{m/s)}$  1.0

Dai impulso ora

Impulsi periodici ☐

Periodo impulsi  $T_{\text{imp}} \text{ (s)}$  2.00

Sincronizza a  $T_0$  (risonanza)

Massa  $m \text{ (kg)}$  1.0

Costante elastica  $k \text{ (N/m)}$  5.0

Smorzamento  $c \text{ (kg/s)}$  0.10

Posizione iniziale  $x_0 \text{ (m)}$  0.50

Velocità iniziale  $v_0 \text{ (m/s)}$  0.00

Scala spaziale  $\text{(px/m)}$  200

$T_0 \approx 2.81 \text{ s} \cdot \omega_0 \approx 2.24 \text{ rad/s} \cdot \zeta \approx 0.022$   
Ampiezza attuale  $\approx 0.500 \text{ m}$



# Ampiezza infinita?

- Se la viscosità è sotto una certa soglia, ad ogni periodo di oscillazione l'ampiezza aumenta, potenzialmente fino all'infinito (se non si rompe prima la molla...)
- Per capire come si comporta un oscillatore in risonanza, bisogna quindi tenere conto di questi fattori:
  - L'intensità della forzante, che tende a far **aumentare** l'ampiezza
  - L'intensità delle forze viscosi, che tende a **ridurre** l'ampiezza



# Conclusioni



# Cosa sapere per l'esame

- Periodo e frequenza, valori tipici delle oscillazioni viste in classe
- Oscillazioni libere e smorzate
- Risonanza