



Fisica - Lezione 5

Oscillazioni

Maurizio Tomasi (maurizio.tomasi@unimi.it)

Lunedì 3 novembre 2025



Introduzione all’argomento di oggi

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



Inquisitori accademici onorari



Oscillazioni



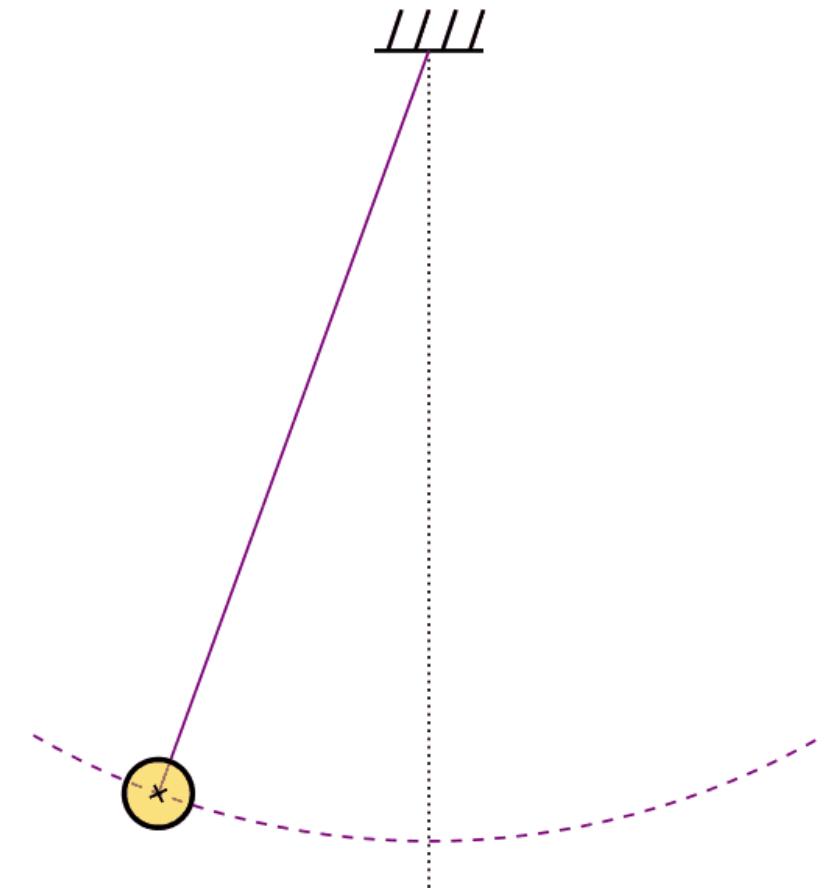
Cos'è un'oscillazione?

- 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.





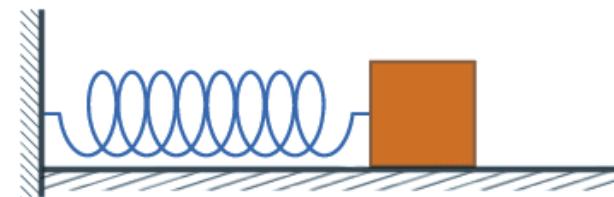
Forze elastiche

- 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

$t = 0.00 \text{ s}$

$x = 0.20 \text{ m}$

$v = 0.00 \text{ m/s}$

$U = 0.02 \text{ J}$

$K = 0.00 \text{ J}$

$E = 0.02 \text{ J}$ (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 ν** :

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

- 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 ($T = 2\pi\sqrt{L/g}$).

Aampiezza iniziale (θ_0): 0.20 rad

Angoli piccoli (≤ 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:

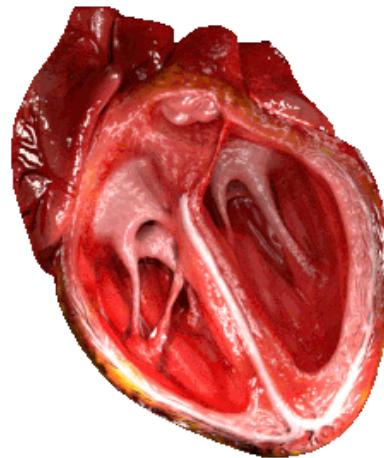
Nota	Frequenza (Hz)
La_0	27,5
La_1	55,0
La_2	110,0





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

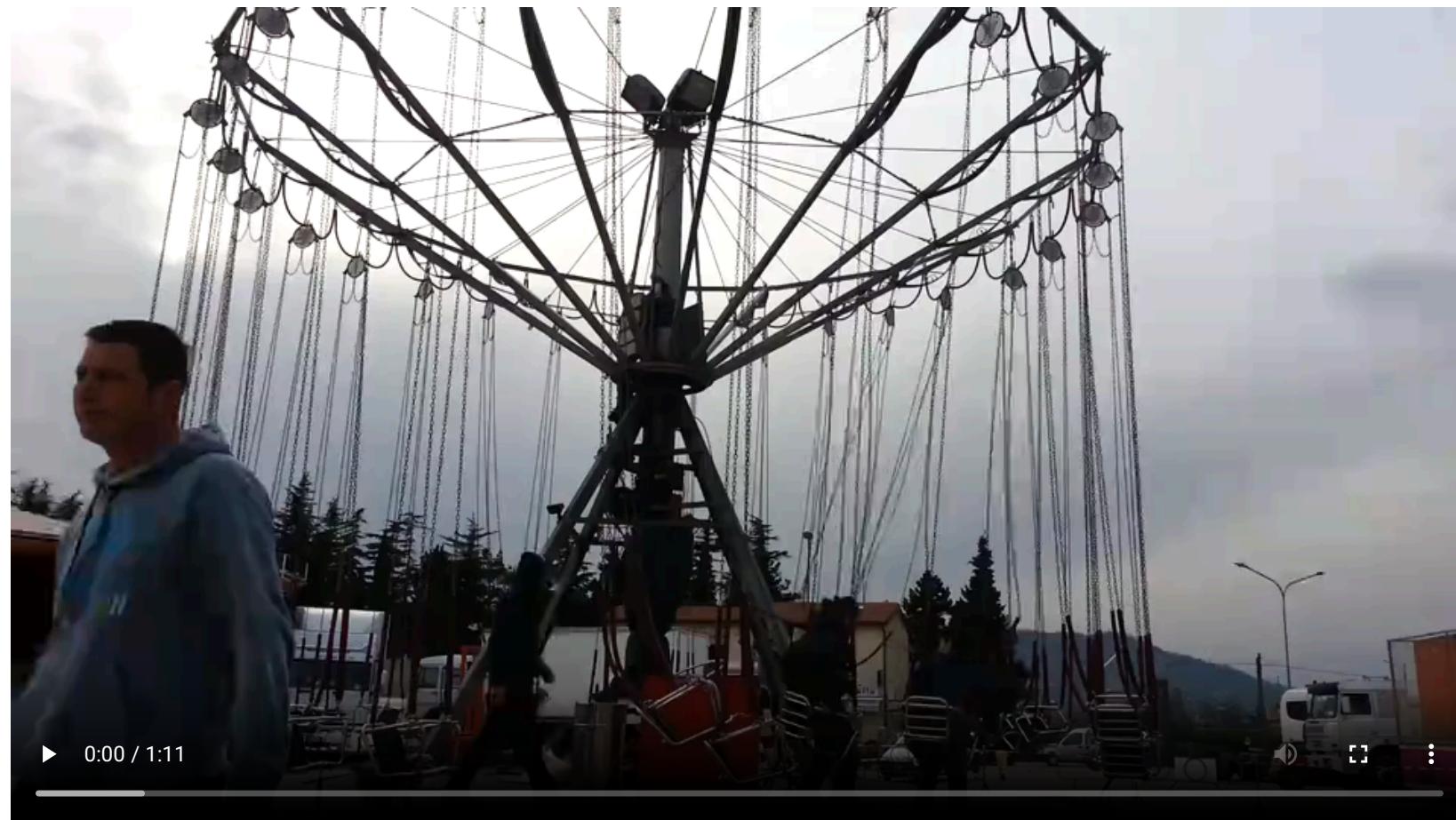
- Il periodo di oscillazione di un'onda sismica è molto variabile
- Nell'immagine a fianco ([terremoti del 2010–2011 a Christchurch, in Nuova Zelanda](#)) si può stimare che il periodo dell'onda fosse inferiore al secondo, quindi $1 \text{ Hz} < \nu < 10 \text{ Hz}$.





Giostra

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



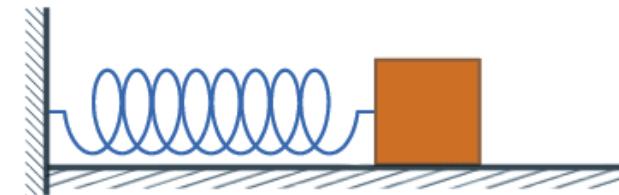


Tipi di moti oscillatori



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 viscose

- L'attrito dell'aria è una cosiddetta **forza viscosa**
- Le forze viscose 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 viscose, 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 viscose

- 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 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 m/s: senza di essa l'impatto a terra sarebbe come quello di una palla da bowling che cade da 1 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

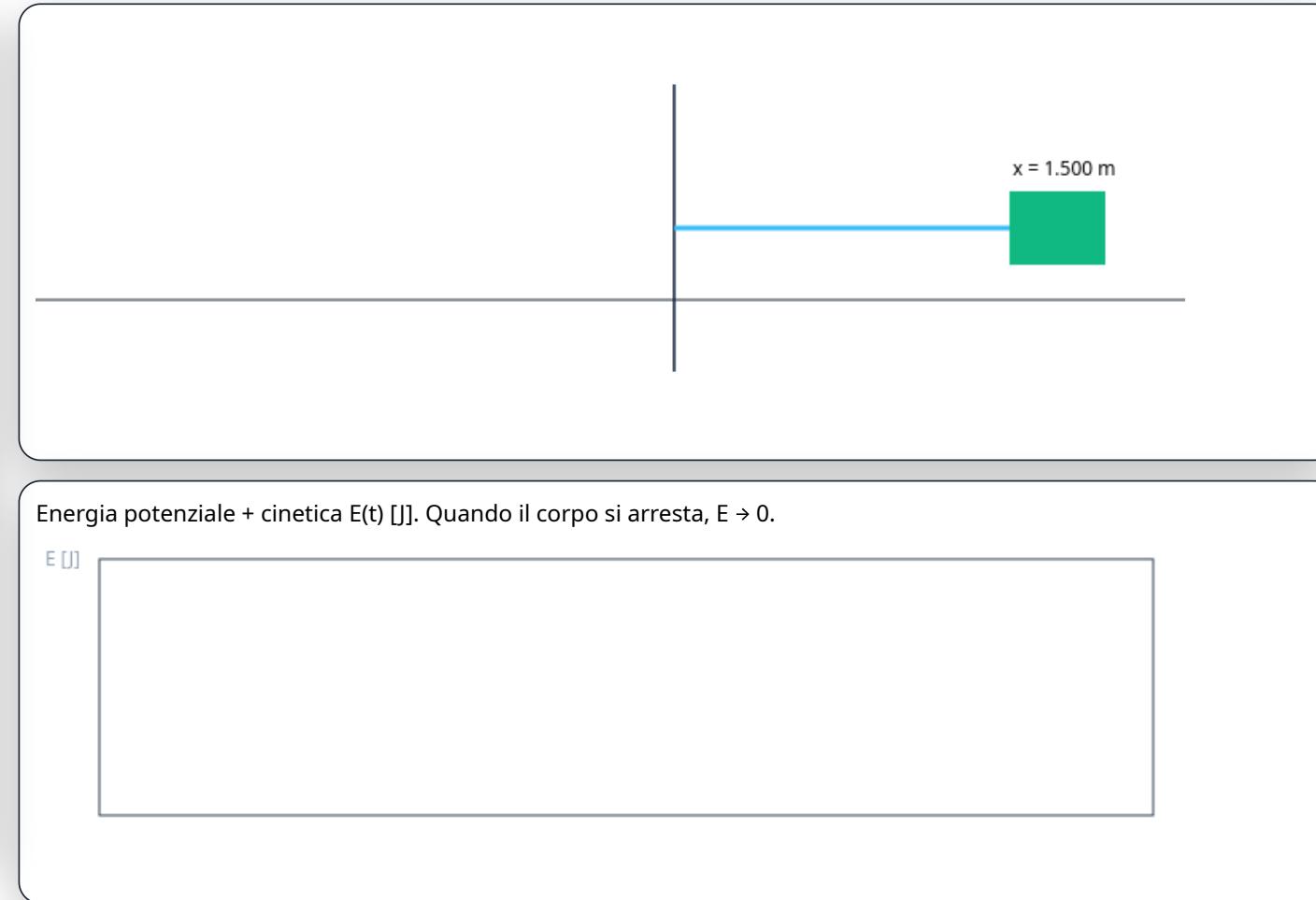
Allungamento iniziale x_0 [m] 1.50

Velocità iniziale v_0 [m/s] 0.00

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

Avvia **Pausa** **Reset**

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





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 viscose 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 (kg·m/s)

1.0

Dai impulso ora

Impulsi periodici

Periodo impulsi T_{imp} (s)

2.00

Sincronizza a T_0 (risonanza)

Massa m (kg)

1.0

Costante elastica k (N/m)

5.0

Smorzamento c (kg/s)

0.10

Posizione iniziale x_0 (m)

0.50

Velocità iniziale v_0 (m/s)

0.00

Scala spaziale (px/m)

200

$T_0 \approx 2.81$ s • $\omega_0 \approx 2.24$ rad/s • $\zeta \approx 0.022$

Aampiezza attuale ≈ 0.500 m



Aampiezza 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 viscose, 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