



## VIDEOLABORATORIO 2

### Il sistema massa-molla

#### Scopo del videolaboratorio

Questo videolaboratorio propone lo studio del moto oscillatorio di un sistema massa-molla, costituito da un pesetto metallico appeso a una molla, che verrà assunta come ideale.

La posizione del pesetto è rilevata da un sensore di distanza collegato a un sistema di acquisizione e analisi dati, così da tracciare la curva oraria del moto per poterne evidenziare la natura armonica. Si dimostra quindi che il periodo delle oscillazioni, determinato attraverso l'analisi della curva oraria, corrisponde con discreta approssimazione al valore teorico:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

dove  $m$  è la massa del pesetto e  $k$  è la costante elastica della molla.

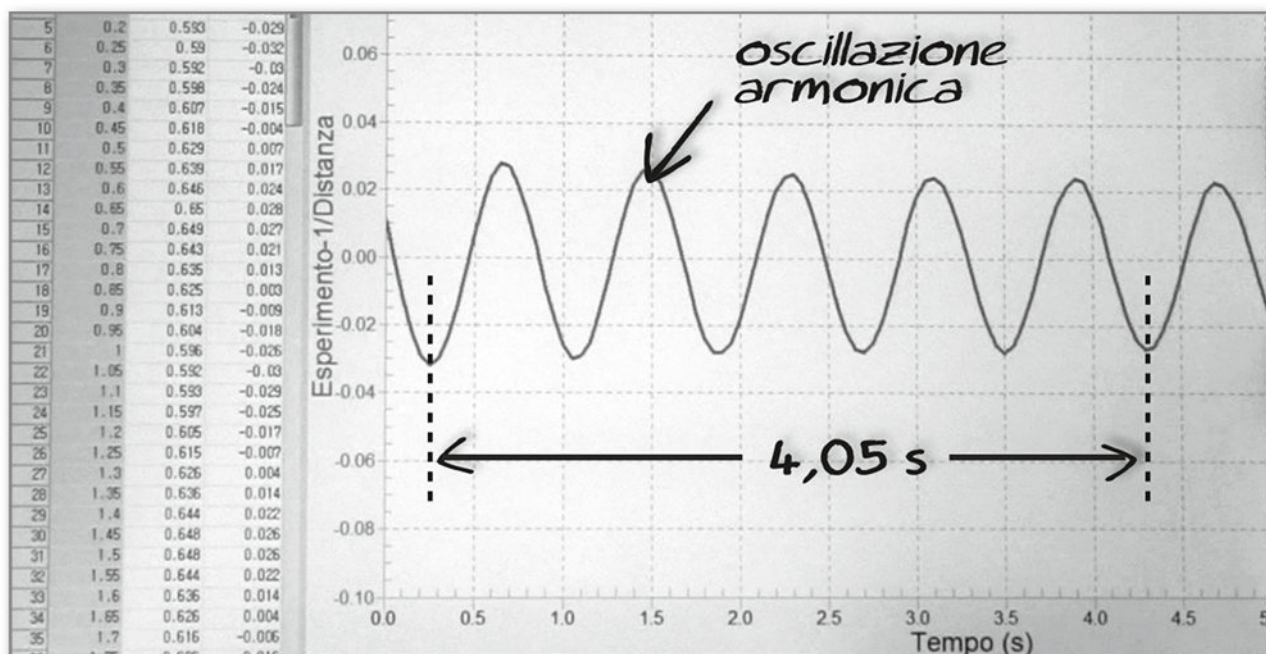
Nella seconda parte del videolaboratorio, viene fatto uso di un sensore di forza per osservare qualitativamente lo sfasamento tra elongazione del pesetto rispetto alla posizione di equilibrio e forza di richiamo elastica.

#### L'apparato sperimentale

La posizione del pesetto oscillante è rilevata istante per istante, in tempo reale, da un sensore di distanza posto sul piano di lavoro e collegato a un sistema di acquisizione e analisi dati online. Il computer registra, a intervalli di 0,05 s, la distanza del pesetto dal sensore. Le incertezze sperimentali sono di 0,01 s sull'asse dei tempi e 1 mm sull'asse delle distanze. Nel seguito dell'esperimento, la forza di richiamo agente sul pesetto è misurata attraverso un sensore di forza di tipo estensimetrico, anch'esso collegato al computer in modo da osservare in tempo reale la variazione temporale dell'intensità della forza. Le rilevazioni del sensore sono utilizzate per un confronto puramente qualitativo con la curva oraria del moto.

#### Concetti fondamentali

Il videolaboratorio inquadra il moto oscillatorio di un sistema massa-molla nel contesto più generale dei moti armonici, caratterizzati da una curva oraria sinusoidale e da una forza di richiamo (in questo caso la forza di Hooke) direttamente proporzionale alla distanza dalla posizione di equilibrio. Dopo aver determinato sperimentalmente il periodo del moto oscillatorio e averlo confrontato con il valore teorico, si pone a confronto la curva oraria del moto con il grafico della forza di richiamo, in modo da evidenziare l'opposizione di fase tra le due grandezze.





Nel caso specifico, l'opposizione di fase è una conseguenza diretta della legge di Hooke ( $F = -kx$ ), per cui l'elongazione  $x$  e la forza di richiamo elastica  $F$  sono sempre discordi.

Più in generale, questa proprietà caratterizza tutti i moti armonici, in quanto descritti da una relazione del tipo  $F = -\omega^2 x$ , in cui il coefficiente di proporzionalità tra  $F$  e  $x$  è necessariamente negativo.

### Dati e grandezze

- Massa del pesetto: 80,0 g, misurato attraverso una bilancia digitale con incertezza di 0,1 g.
- Costante elastica della molla: 3,9 N/m, fornita dal costruttore senza indicazione di un'incertezza, e pertanto assunta come valore noto.
- Periodo teorico: 0,90 s, secondo la legge valida per piccole oscillazioni.
- Intervallo di tempo considerato per il calcolo sperimentale del periodo:  $(4,05 \pm 0,02)$  s.

### Analisi dei grafici e dei dati

Per evidenziare le modalità di calcolo del periodo dell'oscillazione a partire dall'analisi della curva oraria è utile soffermarsi sul grafico presentato al tempo 01:30. Poiché i due estremi dell'intervallo temporale scelto sono noti con un'incertezza di 0,01 s, l'ampiezza dell'intervallo è affetta da un'incertezza di 0,02 s:

$$\Delta t = (4,05 \pm 0,02) \text{ s}$$

Dividendo l'intervallo per il numero di oscillazioni contenute, ovvero 5, si ottiene:

$$T = (\Delta t)/5 = (0,810 \pm 0,004) \text{ s}$$

Questo valore è inferiore di circa il 10% rispetto a quello individuato tramite l'espressione teorica:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} = 2\pi \sqrt{\frac{80 \text{ g}}{3,9 \text{ N/m}}} = 0,90 \text{ s}$$

indicando che la massa della molla non è trascurabile rispetto a quella del pesetto applicato alla sua estremità (e quindi non è pienamente valida l'approssimazione di molla ideale introdotta all'inizio del videolaboratorio).

Per sottolineare l'opposizione di fase tra elongazione e forza è opportuno prestare particolare attenzione al grafico che pone a confronto l'evoluzione temporale delle due grandezze, presentato al tempo 02:25.

Il grafico mostra, qualitativamente, che la forza di richiamo (curva blu) è massima, in valore assoluto, quando anche l'elongazione è massima. Si parla di opposizione di fase perché, assumendo un verso convenzionale, i valori di forza ed elongazione sono sempre discordi: per esempio, nell'istante in cui il pesetto tocca il punto più basso della traiettoria, l'elongazione rispetto al punto di equilibrio è rivolta verso il basso mentre la forza di richiamo è diretta verso l'alto.

