

## Introduzione

I dipartimenti di Fisica delle Università di Padova e di Bologna, in collaborazione con istituzioni universitarie di Polonia, Irlanda e Svezia<sup>[1]</sup> stanno sviluppando e diffondendo proposte di percorsi curricolari in scienze sperimentali con l'uso di sistemi RTL portatili (progetto *Learning Environment for Physics Laboratory Activities: LEPLA*). Uno degli obiettivi del progetto è la discussione di fenomeni che siano descrivibili in modo semplice, e che nel contempo presentino aspetti delicati o "paradossali", spesso contro-intuitivi, che possano essere spiegati in modo chiaro ed efficiente facendo ricorso a concetti fisici fondamentali.

Il fenomeno che si è scelto di proporre come stimolo per la curiosità dello studente all'inizio del modulo dedicato allo studio delle proprietà elastiche dei solidi (legge di Hooke) è quello descritto in questa breve nota<sup>[2]</sup>.

## Il dispositivo

Una massa è appesa ad un gancio tramite due molle tra loro collegate da un pezzo di filo, come illustrato nella figura 1. La figura mostra che ci sono anche due pezzi di filo (non tesi), un primo che collega il gancio all'estremità superiore della molla posta in basso ed un secondo che collega la massa all'estremità inferiore della molla posta in alto. Il sistema si trova in equilibrio e quindi le molle ed il pezzo di filo che le lega sono soggetti alla stessa tensione, pari alla forza gravitazionale che agisce sulla massa:  $F = mg$ .

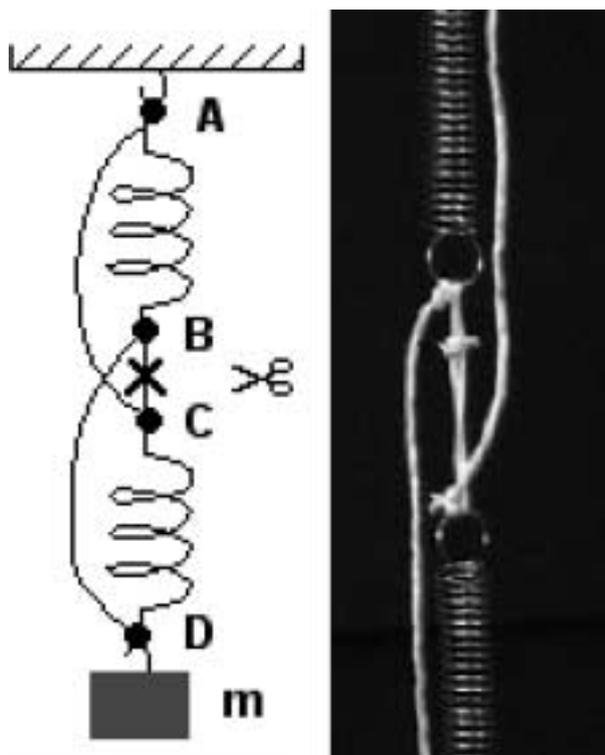


Figura 1

## Il fenomeno "strano"

Il comportamento apparentemente strano di questo sistema si manifesta quando si taglia il tratto di filo intermedio, come si vede nella sequenza riportata in figura 2, ove una freccia evidenzia la quota iniziale della massa.

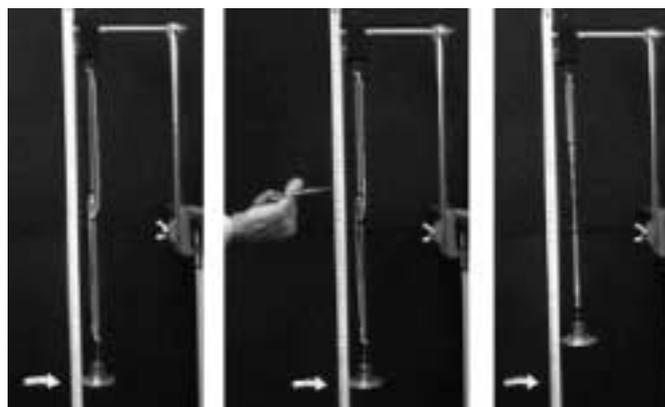


Figura 2

Si vede che, tagliato il filo, la massa si ferma (dopo alcune oscillazioni) in una nuova situazione di equilibrio, ma ad una quota più alta!

## Una misura quantitativa del fenomeno con RTL

Se si esegue questo esperimento con l'aiuto di un sistema RTL (ad esempio CBL™ + TI-89), agganciando la molla in alto ad un sensore di forza e registrando anche la posizione della massa mediante un sonar posto a terra e rivolto verso l'alto, si ottengono grafici, per posizione e forza in funzione del tempo, come quelli riportati in figura 3.

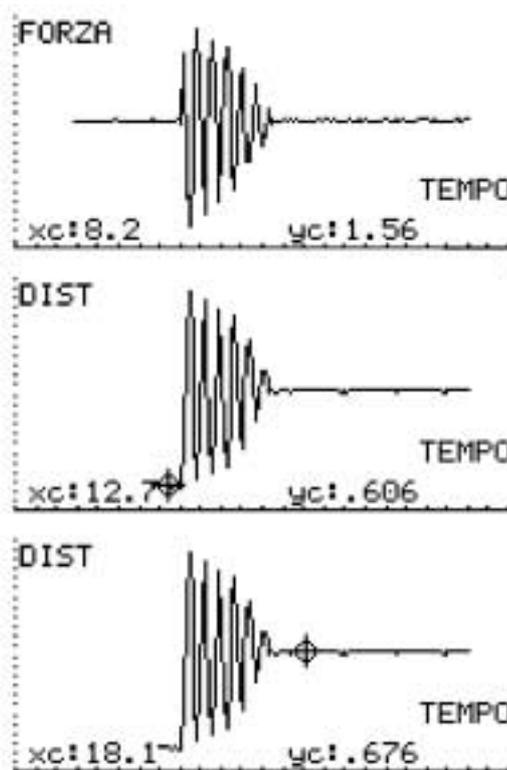


Figura 3

Si vede in figura 3 che il sensore di forza (grafico superiore), nella nuova posizione di equilibrio continua a misurare la stessa forza  $F = mg$ , mentre il sonar (due grafici inferiori) rivela che la massa si è sollevata (in questo caso di ben 7 cm).

## Come spiegare il fenomeno

Come faceva quel tratto di filo *teso* (poi tagliato) a trattenere la massa più in basso?

Un osservatore impulsivo potrebbe stupirsi, partendo dalla considerazione che "un filo può solo *tirare* e mai *spingere*". La spiegazione, che probabilmente non si offre immediatamente all'intuizione di un osservatore qualsiasi, è immediata invece per lo studente che abbia ben capito come si comporta un sistema di molle, in particolare come cambia la *costante elastica* di un sistema quando due molle uguali vengono collegate in *serie* o in *parallelo*.

## Le molle in serie

Nell'equilibrio iniziale le due molle sono evidentemente collegate in *serie*, e se la costante elastica di ciascuna molla è detta  $k$ , la costante elastica della molla equivalente alla *serie* delle due vale  $k_s = k/2$ .

Infatti ciascuna molla è soggetta alla stessa forza e si allunga, seguendo la legge di Hooke ( $F = kX$ ), della quantità  $X = F/k = mg/k$ . L'allungamento totale, rispetto alla lunghezza del sistema a riposo, vale quindi  $X_s = 2X$  e la costante elastica efficace vale

$$k_s = \frac{F}{X_s} = \frac{mg}{(2mg/k)} = \frac{k}{2}$$

## Le molle in parallelo

Nell'equilibrio finale le due molle sono collegate invece in *parallelo*, grazie ai due tratti di filo che si tendono appena viene tagliato quello tra le due molle. Più precisamente, quando questo filo viene tagliato, per un breve istante la tensione, cui erano sottoposte entrambe le molle, si annulla ed esse tendono a riassumere la loro lunghezza a riposo (tendono ad accorciarsi). Ma questo porta in tensione i due fili rimasti, che all'inizio non erano tesi e quindi non contribuivano a sopportare il peso del corpo. Ora invece, in assenza del filo tagliato, sono questi fili che (tendendosi il primo tra il gancio superiore e la molla inferiore, il secondo tra la molla superiore e la massa) equipartiscono la tensione totale.

Ciascuna molla ora sopporta metà del peso  $F = 1/2 \cdot mg$ . L'allungamento è quindi la metà di quello precedente per ciascuna molla  $X_p = X/2$ .

## Calcoliamo le posizioni di equilibrio

In conclusione: *in presenza del filo* quando le due molle vengono caricate in serie appendendo la massa si allungano della quantità  $X_s = 2X$ .

*In assenza del filo* (ovviamente se la lunghezza dei due fili ausiliari uguaglia quella di ciascuna molla caricata in serie più la lunghezza del filo intermedio) quando le due molle vengono caricate in parallelo appendendo la massa si allungano della quantità  $X_p = X/2$ .

Il risultato è che tagliando il filo la massa si dovrebbe sollevare di

$$X_s - X_p = \frac{3X}{2} = \frac{3mg}{2k}$$

Il sollevamento sarà un po' minore perché i due fili ausiliari hanno lunghezza inevitabilmente un po' maggiore di quella di

ciascuna molla caricata in serie, se si vuole che all'inizio essi non siano tesi.

## Commento finale (e un appello ai lettori...)

Fenomeni come quello qui descritto (semplici, ma non semplicemente spiegabili con la sola intuizione), possono servire a stuzzicare l'interesse dello studente e a motivarne l'impegno nello studio sperimentale delle discipline scientifiche. L'uso della tecnologia RTL nella analisi sperimentale di tali fenomeni, offre rapide verifiche quantitative e facilità di ripetere esperimenti modificando alcuni parametri e permettendo di seguire in modo grafico l'evoluzione temporale.

Un secondo esempio con caratteristiche simili a quello qui descritto, adatto invece ad introdurre allo studio della termodinamica, è stato recentemente proposto da M. Rafanelli<sup>[3]</sup> su questa rivista: in quel caso si analizzava sperimentalmente il problema del raffreddamento di un liquido caldo cui veniva aggiunto un liquido freddo con modalità diverse. Il confronto tra dati sperimentali e modello interpretativo offriva spunto per raffinare la descrizione schematica del fenomeno, introducendo, accanto al noto raffreddamento per *conduzione*, il raffreddamento per *evaporazione*, importante solo a temperature elevate.

Colgo questa occasione per sollecitare i lettori di *Ipotesi* a fornire suggerimenti di fenomeni analoghi ai due qui citati, da poter usare utilmente nell'ambito del progetto *LEPLA*.

## Giacomo Torzo

Responsabile scientifico del progetto *LEPLA*  
per l'Università di Padova.  
torzo@padova.infm.it

## Note

[1] Technical University of Łódź (PL), National University of Ireland Cork (IE), University of Malmö (SW), University of Ulster (UK). Tale progetto (Contract 99843-CP-1-2002-1-PL-MINERVA-MPP) annovera l'associazione T3 tra i partner non accademici.

[2] Non ricordo chi mi ha segnalato questo dispositivo interessante. Qui ringrazio l'ignoto suggeritore, nel caso fosse tra i lettori di *Ipotesi*.

[3] M. Rafanelli, *Thè al latte*, *Ipotesi*, Anno 5, n°2/2002