

ACHILLE PERI

ITF "A. Mantegna" - Mantova

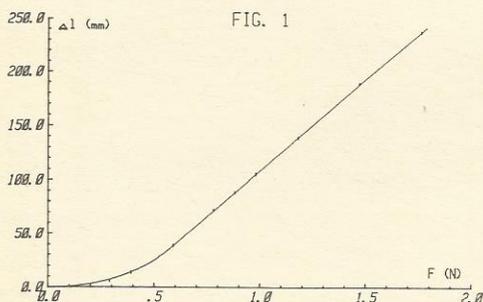
LUIGI TOGLIANI

Liceo Scientifico "Belfiore" - Mantova

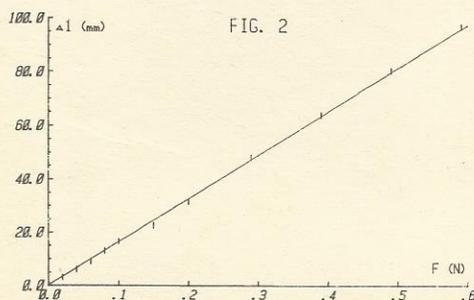
DIDATTICA

Allungamenti di un filo metallico sottoposto a trazione

A qualcuno di voi sarà capitato di cercare di verificare la legge di Hooke usando una molla appena acquistata in fabbrica, una molla con le spire a stretto contatto tra di loro. Può succedere che, per piccoli valori delle forze-peso applicate, la molla non si allunghi linearmente, come è mostrato dal grafico di Fig. 1.



Per ottenere un comportamento lineare è sufficiente snervare lievemente la molla fino a distanziare tra loro le spire. In questo modo si ritrova la legge di Hooke, ma si modifica la costante di elasticità (Fig. 2).



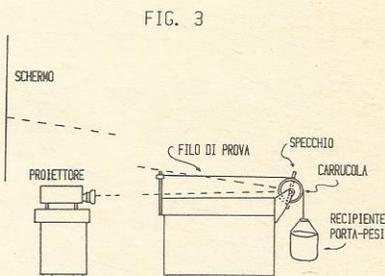
È risaputo che esistono limiti di validità a questa legge anche nel caso di carichi talmente elevati da deformare in maniera permanente la molla (fine del comportamento elastico ed inizio di quello plastico).

Per un filo metallico rettilineo sottoposto a trazione, si ripropongono situazioni analoghe a quel-

le brevemente descritte per la molla; nel caso del filo, tuttavia, le deformazioni sono percentualmente molto inferiori e, generalmente, non visibili ad occhio nudo, nonostante ciò che viene affermato in alcuni testi di fisica elementare.

Lo scopo del nostro lavoro è quello di analizzare il comportamento del filo al di fuori della zona di linearità.

Per poter amplificare i piccoli allungamenti del filo, abbiamo costruito un sistema a leva ottica (Fig. 3). Abbiamo applicato ad un gancio, in orizzontale, un'estremità di un sottile filo di acciaio (diametro 0,25 mm); all'altra estremità il filo girava attorno ad una carrucola fissa, ed ora poi legato ad un recipiente porta-pesi.



Con questo sistema, un allungamento del filo provocava una rotazione della carrucola, la cui superficie ruvida impediva eventuali slittamenti del filo.

Uno specchietto piano solidale con la carrucola rifletteva su uno schermo l'immagine di un reticolo proveniente da un proiettore per diapositive.

Gli allungamenti Δl del filo sono collegati agli spostamenti ΔL dell'immagine sullo schermo mediante la relazione:

$$\Delta l = \frac{r}{2} \operatorname{arctg} \left(\frac{\Delta L}{D} \right), \quad (1)$$

dove D è la distanza specchio-schermo ed r è il raggio della carrucola (Fig. 4).

Si può osservare che, per piccoli valori dell'allungamento reale del filo, Δl e ΔL sono praticamente proporzionali in quanto la funzione arctg si confonde con il suo argomento (si intende che le

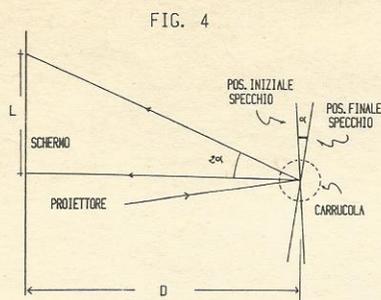


FIG. 4

ampiezze angolari vanno espresse in radianti); le deformazioni del filo, pertanto, potrebbero essere direttamente leggibili sullo schermo in una scala arbitraria.

Tuttavia in alcune prove abbiamo ottenuto valori di Δl tali da indurci a non utilizzare la sopracitata proporzionalità in quanto le approssimazioni conseguenti erano superiori al 10%.

Nel primo esperimento con il filo di acciaio abbiamo indagato sulla variazione dell'allungamento in funzione del carico applicato, spingendo le osservazioni ben oltre la zona di linearità (Fig. 5).

Tab. 1 (Fig. 5)

F (N)	Δl (mm)
7.8	0.0
8.8	0.16
9.8	0.33
10.7	0.48
11.7	0.68
12.7	0.87
13.7	1.48
14.2	4.06

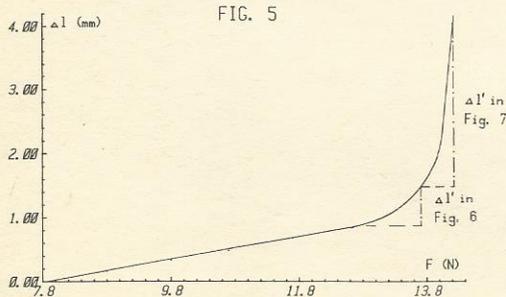


FIG. 5

Come si può notare, oltre un certo valore della forza, la pendenza del grafico non è più costante, ma va aumentando assai rapidamente.

Non solo, ma con carichi per cui non vale più la legge di Hooke entra in gioco anche la variabile tempo; il filo cioè impiega un sensibile intervallo di tempo (tempo di rilassamento) per raggiungere le condizioni di equilibrio.

Nel grafico di fig. 5 i valori degli allungamenti relativi ai carichi 13.7 N e 14.2 N sono quelli rilevati a rilassamento avvenuto. Il valore iniziale di 7.8 N in ascisse va ovviamente considerato come zavorra. Lo stesso vale per il grafico di Fig. 9.

In che modo il filo raggiunge questa situazione di equilibrio?

Le registrazioni degli allungamenti parziali $\Delta l'$ al variare del tempo sono riportate in Figg. 6 e 7. È rimarchevole il fatto che i tempi di rilassamento crescano rapidamente all'aumentare del carico. Abbiamo voluto approfondire la questione usando un peso di 15.2 N (Fig. 8); in questo caso siamo stati costretti a protrarre l'esperimento per circa 24 ore; di tali proporzioni era il tempo di rilassamento!

Il fatto è noto ai violinisti e, in generale, ai suonatori di strumenti a corda; quando si prepara un violino con corde nuove, è necessario riaccordarlo molto spesso nei primi giorni, proprio perché i fili metallici (ed anche quelli di plastica) si rilassano con le modalità che abbiamo descritto.

L'ultimo aspetto analizzato riguarda l'isteresi. Cosa accade, una volta usciti dalla linearità, se scarichiamo gradualmente il filo?

Per non complicare la situazione abbiamo iniziato a diminuire il carico prima che la variabile tempo potesse avere una certa rilevanza. Dalla Fig. 9 si vede chiaramente la differenza di comportamento tra la fase di carico e quella di scarico (isteresi).

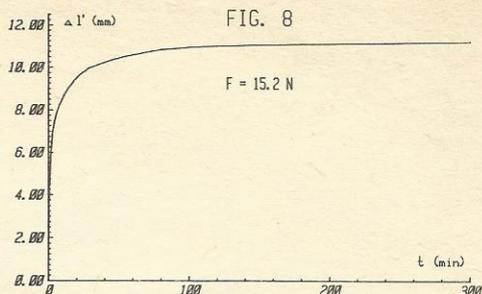
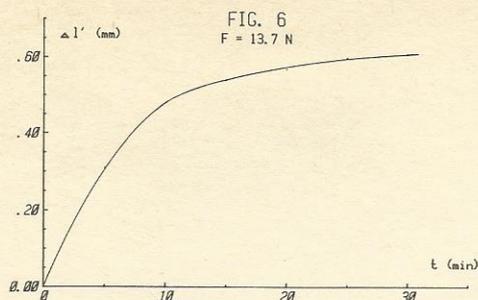
Durante tutte le esperienze le variazioni di temperatura erano di qualche decimo di °C, pertanto non influivano in modo significativo sui risultati. Gli allungamenti percentuali del filo, infatti, erano dell'ordine dello 0.5‰.

Per avere variazioni dello stesso ordine di grandezza di quelle misurate, gli sbalzi termici avrebbero dovuto essere di circa 500°C.

Per quanto riguarda gli errori nelle misure effettuate, abbiamo considerato l'errore assoluto di 1 mm sugli allungamenti della molla.

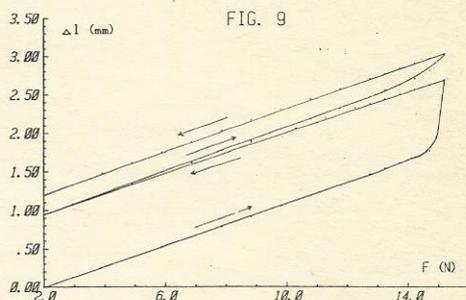
Nel caso del filo la situazione è più complessa. Per poter stimare l'errore percentuale su Δl , abbiamo approssimato in (1) l'arcotangente con il suo argomento. Per i più piccoli valori di ΔL abbiamo ottenuto errori percentuali del 10%, per i più grandi dell'1%, ma la maggior parte delle misure dava errori del 2%.

Gli errori percentuali sulle forze applicate e sui tempi di rilassamento sono risultati trascurabili ri-



Tab. 2 (Fig. 7)

t (min)	Δl (mm)
0	0.00
1	0.63
2	0.91
3	1.02
4	1.24
5	1.34
6	1.42
7	1.51
8	1.56
9	1.62
10	1.68
15	1.89
20	2.00
25	2.08
30	2.15
40	2.25
50	2.32
60	2.38
70	2.41
80	2.44
400	2.60



spetto a quelli relativi agli allungamenti.

Da questa piccola serie di esperienze si possono trarre alcune conclusioni.

- Il filo "ha memoria" delle esperienze precedenti: una volta snervato cambia il suo comportamento qualitativo e/o quantitativo.
- È sorprendente che, con la complicata fenomenologia descritta, esista una zona di linearità.
- La variabile tempo può incidere in modo determinante sugli allungamenti del filo. Il grafico $\Delta l-t$ (Fig. 8) potrebbe non presentare l'asintoto orizzontale per carichi ancora più elevati; in questo caso si giungerebbe alla rottura del filo.

Rimangono aperte molte questioni.

- Che relazione esiste tra l'allungamento residuo nell'isteresi e il numero di cicli di carico e scarico?
- È possibile trovare una semplice relazione matematica tra allungamento e tempo? Sarà di tipo esponenziale?
- Quale comportamento microscopico nel filo può produrre gli effetti macroscopici osservati? L'idea di "dislocazione" nel reticolo cristallino può essere utile per spiegare l'incidenza del fattore tempo?

BIBLIOGRAFIA

- *La Fisica di Feynman*; vol. II Parte 2 - Inter European Editions.
- Halliday-Resnick: *Fisica 1*, - Casa Ed. Ambrosiana.
- Enciclopedia della Scienza e della Tecnica; voci: *Deformazione, Dislocazione, Elasticità, Elasticità non lineare*, Mondadori.
- J.E. Gordon: *La scienza dei materiali resistenti*, Mondadori.
- S. Carrà: *Struttura e stabilità*, Mondadori.

