

Transizioni di fase nel NiTiNolo



I materiali di NANOLAB, inclusa la presente scheda, sono proprietà degli autori di NANOLAB (www.nanolab.unimore.it) e distribuiti con [licenza](#) Creative Commons 3.0 Versione: 06/07/2012

Materiale occorrente

- Molla one way di Nitinolo
- Portamasse + masse da 50 gr (300 - 400 g totale)
- Generatore
- Multimetro 1 - uso ohmetro /voltmetro
- Multimetro 2 – con sensore di temperatura
- 4 Cavetti di collegamento
- Asta di supporto con braccio orizzontale
- Cronometro (opzionale)
- Videocamera
- Schermo o foglio bianco almeno A4
- Righello o software di analisi video
- Computer

Schema circuito

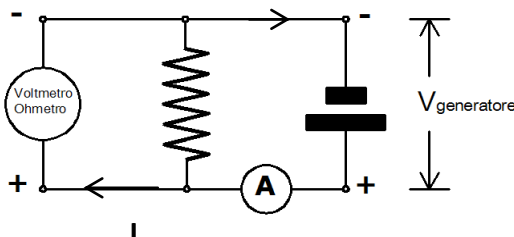


Fig.1 Circuito: parte elettrica



Non eccedete mai i 3 A di corrente
e i 500 g di massa!

Evitate che si produca un allungamento
superiore ai 10 cm !

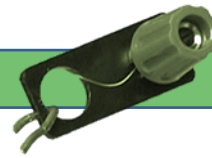
Avete a disposizione una molla che è stata precedentemente allungata mentre si raffreddava e si trova pertanto in fase Martensite deformata. Studieremo il comportamento della molla durante le transizioni di fase :

- I) da Martensite deformata ad Austenite, tramite riscaldamento ;
- II) da Austenite a Martensite deformata, tramite sforzo meccanico + raffreddamento .

Procedimento

Preparazione dell'apparato sperimentale

1. Collegate il circuito molla-voltmetro-generatore seguendo la Fig.1 senza accendere ancora il generatore.
2. Scegliete una massa iniziale (ad es. 250 gr) e appendetela alla molla.
3. Fate un **ciclo completo di prova** senza prendere misure:



- Accendete il generatore (corrente 2,2 A) e guardate cosa succede.

Osservazioni:

.....
.....
.....

- Quando non si nota più movimento spegnete il generatore .
(NON azzerate la corrente prima di spegnere)
- Osservate il comportamento della molla fino a quando TUTTE le variabili saranno tornate nelle condizioni iniziali. (Potrebbero essere necessari anche parecchi minuti). Nel frattempo leggete i punti successivi e preparate tutto l'occorrente per la videoripresa .

Prime osservazioni:

.....

.....

Preparazione delle riprese

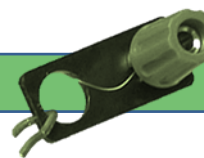
Ci sono moltissime variabili da controllare contemporaneamente ed alcune misure vanno eseguite in tempi molto rapidi. Per questo utilizzerete una raccolta dati tramite immagini digitali.

- Disponete l'apparato in modo che sia tutto inserito nell'inquadratura . Controllate che i dati dei display dei vari strumenti siano **chiaramente leggibili** (Vedi Fig.2 pag.6).
- Fissate un foglio bianco dietro la molla a mo' di schermo.
- Con un pennarello o del nastro adesivo colorato fate un segno sulla molla o sulla massa più bassa, che sia ben identificabile e tracciabile dal software di analisi video.
- Lasciate ferma l'inquadratura per tutta la raccolta dati. E' consigliato l'uso di un cavalletto o di un appoggio fisso per la videocamera.

Raccolta dati-riprese

1. Usando il multimetro in modalità ohmetro registrate la resistenza della molla R_{MD}^1 e leggete dalla sonda la temperatura iniziale T_0 .
2. Accendete nell'ordine videocamera, multimetro in modalità voltmetro e generatore.
3. A riavvolgimento completo della molla lasciate acceso il generatore ma abbassate velocemente la corrente fino a 0,5 A.
4. Lasciate raffreddare la molla fino a che ritorna a temperatura ambiente o poco più.
5. A temperatura definitivamente stabilizzata spegnete la videocamera.

¹ Resistenza Martensite Deformata



Analisi dati

Lavorerete sulle immagini per ricavare tutti i dati, perciò innanzitutto salvate il video sul PC ed eventualmente convertitelo in un formato compatibile col software di analisi video². Si ottengono i seguenti dati: **tensione V**, **corrente I**, **temperatura T** (lettura diretta dagli strumenti), **resistenza elettrica R**³ (misura indiretta), tempo **t** (dalla barra di scorrimento del filmato), spostamento del punto di riferimento **S** (ricavabile col software di analisi video), allungamento della molla ΔS .

Usate un foglio elettronico ed impostate una tabella con le varie grandezze.

t (sec)	V(V)	I(A)	R (ohm)	T (°C)	S (mm)	ΔS (mm)

Avendo a disposizione un gran numero di dati diversi registrati contemporaneamente e sapendo poco o niente del fenomeno, siete nella situazione ideale per determinare senza preconcetti se esistono relazioni significative tra le variabili in gioco. In particolare cercate di rispondere alle domande sotto evidenziate:

1. Dipendenza della **temperatura dal tempo**

Il passaggio di corrente produce il riscaldamento della molla. Una volta abbassata drasticamente la corrente da 2,4 a 0,5 A la temperatura cala fino all'equilibrio termico molla/ambiente.

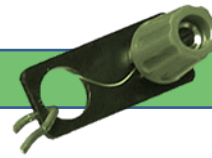
- Tracciate un **grafico Temperatura/tempo**. Che dipendenza c'è tra le due grandezze?
- State studiando una trasformazione di stato solido-solido. C'è qualcosa nel grafico che vi porterebbe a pensare ad una **transizione di fase**? Individuate analogie e differenze con le curve a voi note dei passaggi di stato. Eventualmente ripetete l'esperimento con una corrente più bassa (2 A o anche meno).
- Nella fase di riscaldamento si tratta di puro e semplice **effetto Joule**? Su quali osservazioni basate le vostre affermazioni?

2. Allungamento in funzione della **temperatura**

Per studiare come si accorcia/allunga la molla è sufficiente studiare lo spostamento verticale ΔS di un punto della molla o del porta pesi individuato come punto di riferimento: è infatti $\Delta S = \Delta L$ (con ΔL allungamento della molla).

² .flv va bene per Tracker.

³ R si ricava da I e V tramite la legge di Ohm $R=V/I$. Questo è il motivo per cui anche in fase di raffreddamento viene mantenuta una piccola corrente, sufficientemente bassa da non indurre innalzamento di temperatura e contrazione.



- Lavorate con un software di analisi video e ricavate i grafici dello spostamento⁴ in funzione della temperatura .
- Le due curve ottenute in riscaldamento/raffreddamento coincidono? Sono cioè la stessa curva percorsa in “senso inverso”? Perché? Provate a dare una spiegazione.
- Sul grafico individuate le diverse fasi e le corrispondenti temperature di transizione (metodo delle tangenti⁵).
- Vi è coincidenza tra i valori così trovati e le temperature di transizione ricavabili dal video? Inizio/fine contrazione (T^{AS} = Temp. Austenite Start e T^{AF} = Temp. Austenite Finish), inizio/fine dilatazione (T^{MS} = Temp. Martensite Start e T^{MF} = temp. Austenite Finish).

Analisi dati - Livello avanzato

3. Andamento della Resistenza

La resistività è una sonda fine della microstruttura del Nitinolo, essa permette cioè di evidenziare indirettamente mutamenti che intervengono a livello di reticolo cristallino. A differenza della resistività la Resistenza dipende anche da fattori geometrici che tuttavia in questo caso possiamo considerare trascurabili. Con questa ipotesi le due grandezze sono direttamente proporzionali. Voi studierete R.

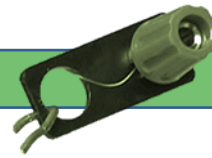
- **Come dipende R dalla temperatura?** Tracciate un grafico appropriato, descrivetelo e cercate di darne una interpretazione evidenziando analogie e differenze col comportamento a voi noto degli usuali metalli .
N.B. Attenzione: le modifiche si vedono sulla quarta cifra decimale di V! Se leggete la tensione dal generatore probabilmente non vi accorgete delle differenze.
- **La R dipende solo dalla temperatura ?** Si è precedentemente osservato che la molla si muove a scatti con un susseguirsi di movimenti e di pause. Cosa accade a R in questi diversi momenti ?
- Se avete raccolto i dati per più masse applicate valutate l'effetto dello stress meccanico sulla resistenza. Limitatevi al processo di raffreddamento. Riportate i dati da quando I = 0,5 A stabile.

4. Dipendenza della temperatura di transizione dallo stress meccanico applicato

Cambiate la massa applicata alla stessa molla (100, 200, 300,400 gr). e osservate come

⁴ E' consigliato Tracker, liberamente scaricabile da www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker/. Vedi tutorial per l'uso.

⁵ Metodo delle tangenti vedi presentazione fatta dal docente.



variano le curve $\Delta S(T)$.

ATTENZIONE! Ad ogni cambio di massa fate un ciclo libero di riscaldamento/raffreddamento prima di procedere a registrare i dati: la molla deve assestarsi al nuovo carico altrimenti la curva non si chiuderà.

- Rappresentate tutte le curve nello stesso piano cartesiano.
- Ricavate le temperature di transizione in funzione della massa. Concentratevi soprattutto sulla curva in raffreddamento: cosa succede alle T^{MS} e T^{AF} ? Nelle transizioni di fase classico quale fattore era in grado di mutare la temperatura di transizione? (ad es. pensate alla trasformazione ghiaccio/acqua)

5. Moto dell'estremità della molla o del punto di riferimento

Studiate in modo completo il moto del punto di riferimento prescelto (spostamento, velocità, accelerazione), meglio se riuscite a ripetere le misure per masse diverse.

- Lavorate con un software di analisi video
- Fate i tre grafici corrispondenti fornendo una interpretazione in termini di transizione di fase.

6. Efficienza

Molle e fili di Nitinolo trovano spesso impiego come **attuatori**. Per ricavare l'efficienza della molla di Nitinolo mentre solleva la massa applicata calcolate:

- La potenza erogata dal generatore o potenza di input $P_{in} = VI$
- Il lavoro compiuto $L = mgh$ e la potenza di output $P_{out} = L/t$
- L'efficienza della trasformazione P_{out} / P_{in}

Modificando la corrente I potete modificare la velocità v di contrazione della molla. Da quale relazione sono legate I e v ? Che avviene all'efficienza variando I ? Attenzione a non superare il limite dei 3 A!

Comunicare la scienza -

Per il suo comportamento inusuale e spettacolare il nitinolo si presta bene alle dimostrazioni. Pensate a come semplificare, modificare e riorganizzare il percorso fin qui seguito in modo da proporlo a studenti di altre classi per stupirli e trasmettere una idea scientifica precisa. (15 min max)

Quale messaggio volete trasmettere? Quali accorgimenti potete utilizzare per catturare l'attenzione, coinvolgere e stimolare domande?

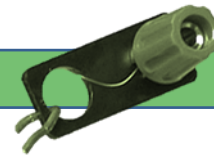
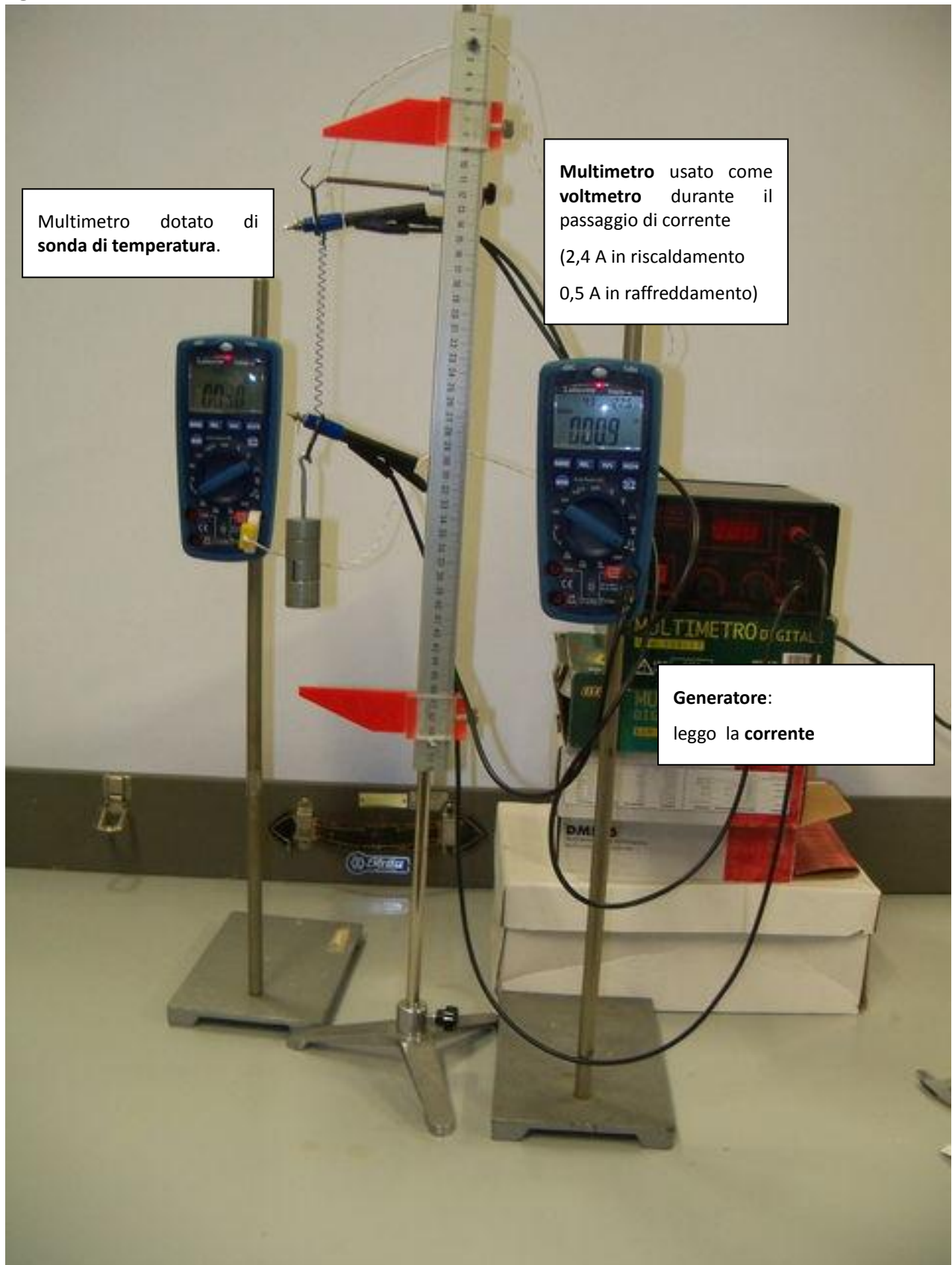


Fig.2



Multimetro dotato di sonda di temperatura.

Multimetro usato come voltmetro durante il passaggio di corrente (2,4 A in riscaldamento, 0,5 A in raffreddamento)

Generatore:
leggo la corrente