

## Estensimetro

Da Wikipedia, l'enciclopedia libera.

L'**estensimetro** è uno [strumento di misura](#) utilizzato per rilevare piccole [deformazioni dimensionali](#) di un corpo sottoposto a sollecitazioni meccaniche o termiche (es. applicazione di carichi o variazioni di temperatura).

Conoscendo a priori le caratteristiche meccanico/fisiche del materiale, misurando le deformazioni si possono facilmente ricavare i carichi a cui il materiale è sottoposto. Inoltre, utilizzando estensimetri di giusta tipologia e applicandoli in modo oculato, possono rilevare la direzione e il verso di queste deformazioni, e di conseguenza dei carichi presenti nel materiale sotto esame.

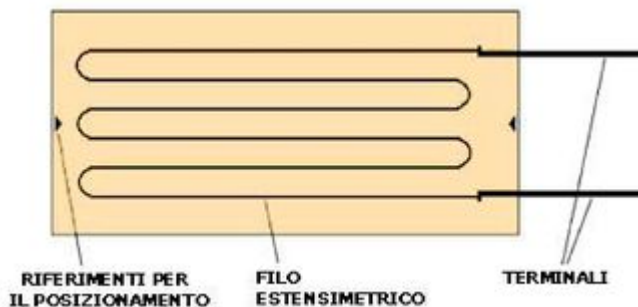
I campi d'applicazione sono molteplici:

- testing in laboratorio su componenti meccanici o materiali;
- analisi statiche e dinamiche di componenti o sistemi meccanici già montati in situ;
- monitoraggio di componenti o sistemi strutturali;
- elemento [sensore](#) per [trasduttori](#) di [grandezze meccaniche](#);
- altro ancora...

Sono stati sviluppati vari tipi di estensimetri, ognuno con caratteristiche peculiari che si adattavano a specifici campi d'applicazione. Di seguito se ne accennerà alcune tipologie, concentrandosi su quelle che hanno più spazio nelle attuali applicazioni.

**Nota:** nel tempo, per le loro ottime caratteristiche generali, gli **estensimetri elettrici a resistenza** hanno scalzato le altre tipologie nella maggior parte delle applicazioni, tanto che oggi, quando si parla di "estensimetri", normalmente si sottintende specificamente a questa categoria.

### L'estensimetro elettrico a resistenza [\[modifica\]](#)



Schema di un estensimetro elettrico.

L'**estensimetro elettrico a resistenza** è costituito da una griglia di sottilissimo filo metallico (solitamente [costantana](#)) rigidamente applicata su di un supporto di materiale plastico. Venne inventato da [Edward E. Simmons](#) e [Arthur C. Ruge](#) nel [1938](#).

L'estensimetro viene utilizzato incollandolo sulla superficie del corpo di cui si vogliono misurare le deformazioni generalmente utilizzando collanti istantanei come il [cianoacrilato](#). Il filo dell'estensimetro segue le deformazioni della superficie a cui è incollato, allungandosi ed accorciandosi insieme ad essa; queste variazioni dimensionali causano una variazione della



**A.GOMBA e C.**

resistenza elettrica del filo. Misurando, tramite un ponte di Wheatstone o altro sistema tali variazioni, si può risalire all'entità della deformazione che le ha causate.

Le dimensioni di un estensimetro possono variare da pochi micron ad alcuni centimetri. Quelli di dimensioni minori sono utilizzati per misure puntuali, cioè per conoscere il valore delle deformazioni in un punto preciso, mentre quelli di maggior lunghezza sono utili per rilevare la deformazione media relativa ad un'area più estesa.

### Resistenza e sensibilità [\[modifica\]](#)

Un estensimetro elettrico è caratterizzato da due grandezze fondamentali: la resistenza del filo che costituisce la griglia sensibile (i valori più diffusi in commercio sono 120, 350 e 600 ohm) e il *gauge factor* ovvero il fattore di trasduzione, che esprime la sensibilità dell'estensimetro.

L'incremento di resistenza dell'estensimetro viene espressa come rapporto fra la variazione di resistenza e la resistenza totale del filo. Se  $L$  è la lunghezza iniziale del corpo,  $\Delta L$  la sua variazione,  $R$  è la resistenza iniziale del filo e  $\Delta R$  la sua variazione, allora il *gauge factor*  $G_f$  è

$$G_f = \frac{\Delta R/R}{\Delta L/L}$$

pari a:

Negli estensimetri commerciali il valore del *gauge factor* si aggira intorno a 2.

### Influenza della temperatura sugli estensimetri a resistenza [\[modifica\]](#)

La corrente elettrica che scorre nell'estensimetro provoca un riscaldamento per effetto Joule. L'effetto di tale riscaldamento è una variazione di resistenza elettrica relativa:

$$\frac{\Delta R'}{R} = \alpha \cdot \Delta T$$

dove  $\alpha$  rappresenta il *coefficiente termico di resistenza* del materiale conduttore.

Se inoltre le misure vengono realizzate in ambienti con temperature diverse da quelle standard (25 °C) il riscaldamento della griglia provoca un allungamento termico del filo:

$$\frac{\Delta L'}{L} = \beta' \cdot \Delta T$$

; il riscaldamento provoca anche un allungamento del materiale cui è

applicata la griglia estensimetrica: 
$$\frac{\Delta L''}{L} = \beta'' \cdot \Delta T$$

Si ha quindi un allungamento differenziale:

$$\frac{\Delta L}{L} = (\beta' - \beta'') \cdot \Delta T$$

Questo contributo provoca una variazione di resistenza relativa pari a:

$$\frac{\Delta R''}{R} = G_f \cdot \frac{\Delta L}{L} = G_f \cdot (\beta' - \beta'') \cdot \Delta T$$

In definitiva gli effetti termici provocano una deformazione detta *apparente* che risulta:

$$\epsilon = \frac{1}{G_f} \cdot \left( \frac{\Delta R'}{R} + \frac{\Delta R''}{R} \right) = \left[ \frac{\alpha}{G_f} + (\beta' - \beta'') \right] \cdot \Delta T$$

Se si vuole eliminare questa deformazione si deve porre:  $\frac{\alpha}{G_f} + (\beta' - \beta'') = 0$ , cioè  $\frac{\alpha}{G_f} = \beta'' - \beta'$

procedura questa che vale per il particolare accoppiamento estensimetro-materiale da misurare.

Altro modo per eliminare l'influenza della temperatura è quello di usare un [ponte di Wheatstone](#) connettendo l'estensimetro per la misura su un lato e un altro estensimetro uguale su un pezzo dello stesso materiale non sottoposto ad alcuna sollecitazione ma esposto alla stessa temperatura su un lato adiacente del ponte. Per le caratteristiche del ponte di Wheatstone le deformazioni dovute alla temperatura producono la stessa variazione di resistenza in modulo ma di segno discorde così da elidersi.

### Tipi di realizzazione [\[modifica\]](#)

Non sempre è possibile conoscere a priori la direzione secondo la quale si verificherà la deformazione del materiale; diventa allora necessario applicare, in ciascuno dei punti sottoposti a misura, più estensimetri, con assi orientati nelle diverse direzioni. A tale scopo esistono in commercio estensimetri multigriglia, comunemente detti "coppie" o "rosette". Di seguito vengono descritti i tipi di estensimetri più comunemente usati.

#### 1- Estensimetro monoassiale [\[modifica\]](#)

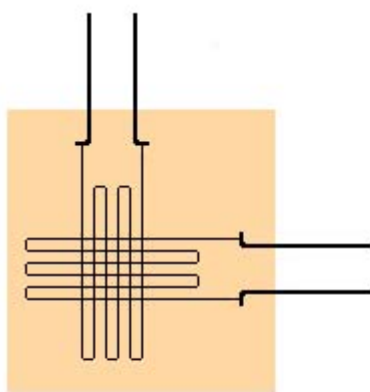
È il più semplice genere di estensimetro, in grado di valutare deformazioni in un'unica direzione. Si utilizza quando la direzione delle deformazioni è nota, ovvero chiaramente determinabile. È costituito da un'unica griglia di filo, la cui direzione di lavoro è visibile sul supporto plastico, in modo da consentire il corretto orientamento dell'estensimetro nella fase di applicazione.

Per un estensimetro monoassiale, nel caso di [materiali elastici lineari](#), il valore della tensione  $\sigma$  si calcola con la relazione:

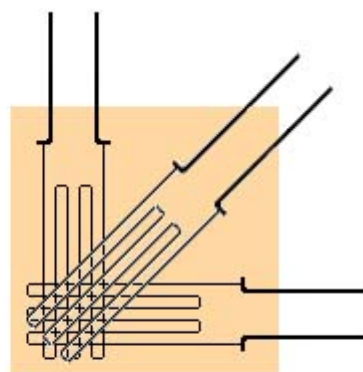
$$\sigma = E \cdot \epsilon$$

dove  $E$  è il [modulo di Young](#) del materiale ed  $\epsilon$  la microdilatazione rilevata dall'estensimetro.

#### 2- Estensimetro biassiale [\[modifica\]](#)



Estensimetro biassiale con griglie a 90°



Estensimetro triassiale con griglia intermedia a 45°

L'estensimetro biassiale, spesso denominato "coppia", si utilizza quando la struttura è sottoposta ad uno stato di tensione lungo un piano.



**A.GOMBA e C.**

L'estensimetro è costituito da due estensimetri monoassiali disposti con orientazione ruotata di 90° l'uno rispetto all'altro.

I due rami dell'estensimetro forniscono i valori delle microdilatazioni  $\epsilon_x$  e  $\epsilon_y$ , in due diverse direzioni fra loro ortogonali. Le tensioni principali  $\sigma_1$  e  $\sigma_2$ , si ottengono in tal caso con le seguenti relazioni:

$$\sigma_x = \frac{E}{1 - \nu^2} (\epsilon_x + \nu \epsilon_y)$$
$$\sigma_y = \frac{E}{1 - \nu^2} (\epsilon_y + \nu \epsilon_x)$$

dove  $\nu$  è il [modulo di Poisson](#) ed  $E$  il [modulo di Young](#).

### 3- Estensimetri triassiali [\[modifica\]](#)

Nei casi in cui non siano note le direzioni principali delle deformazioni, si utilizzano estensimetri triassiali, detti anche "rosette", ove, oltre alle due griglie orientate secondo due direzioni ortogonali, è presente una griglia intermedia, orientata a 45°. In tal caso, ottenuti i valori delle microdilatazioni  $\epsilon_x$ ,  $\epsilon_y$  ed  $\epsilon_b$  (secondo le direzioni x, y ed a 45° fra esse), è possibile ricavare la coppia delle microdilatazioni principali  $\epsilon_1$  ed  $\epsilon_2$ , applicando la trattazione analitica del [cerchio di Mohr](#), secondo le relazioni che seguono:

$$\epsilon_1 = \frac{\epsilon_x + \epsilon_y}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{(\epsilon_x - \epsilon_y)^2 + (2\epsilon_b - \epsilon_x - \epsilon_y)^2}$$
$$\epsilon_2 = \frac{\epsilon_x + \epsilon_y}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{(\epsilon_x - \epsilon_y)^2 + (2\epsilon_b - \epsilon_x - \epsilon_y)^2}$$

Le corrispondenti tensioni principali  $\sigma_1$  e  $\sigma_2$  sono allora espresse dalle relazioni:

$$\sigma_1 = \frac{E}{1 - \nu^2} (\epsilon_1 + \nu \epsilon_2)$$
$$\sigma_2 = \frac{E}{1 - \nu^2} (\epsilon_2 + \nu \epsilon_1)$$

dove  $\nu$  è il modulo di Poisson ed  $E$  il modulo di Young del materiale oggetto della misura.

Sia per gli estensimetri biassiali che per i triassiali, ottenute le sollecitazioni principali nei modi descritti, si può determinare la sollecitazione monoassiale ideale equivalente, utilizzando la formula che segue (come esposto sulla CNR-UNI 10011/88):

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_2}$$

Valori comuni per l'acciaio sono i seguenti:

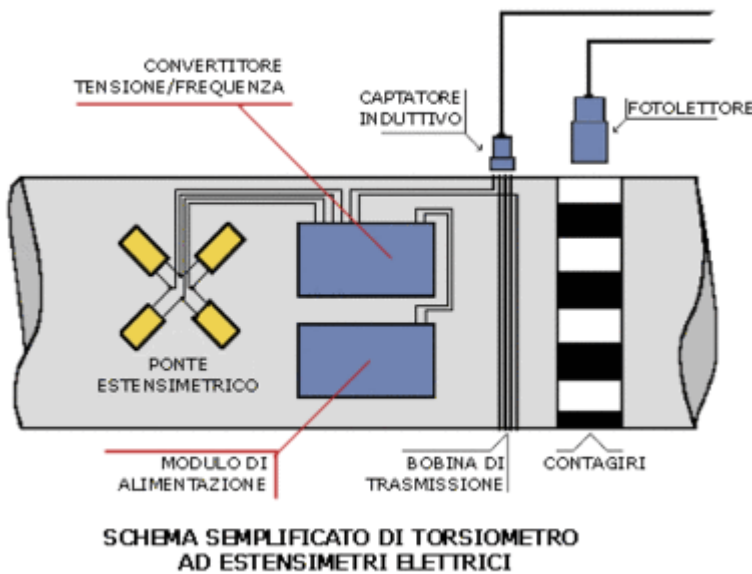
Modulo di Young:  $E = 21.000 \text{ Kg/m}^2 = 20,6 * 10^4 \text{ MPa}$

Rapporto di Poisson:  $\nu = 0,3$



**A.GOMBA e C.**

## Estensimetri per misure di momento torcente [\[modifica\]](#)



Un particolare tipo di estensimetro è quello a ponte intero, costituito da quattro griglie sensibili indipendenti, orientate secondo le diagonali di un quadrato. Le quattro griglie sono già elettricamente collegate in modo da costituire un [ponte di Wheatstone](#); i quattro vertici o nodi del ponte sono portati all'esterno tramite quattro terminali. Gli estensimetri di questo tipo sono particolarmente adatti alle misure di [torsione](#): applicati ad esempio sugli assi degli apparati motore, consentono di misurare il [momento torcente](#) trasmesso dall'asse e quindi, in abbinamento ad un [contagiri](#), di determinare la potenza sviluppata. La realizzazione pratica di un tale sistema di misura prende il nome di "torsionometro", e si avvale di moduli appositi che, montati sull'asse e ruotando solidalmente ad esso, trasmettono il segnale utile ad un ricevitore fisso montato in prossimità dell'asse.

L'estensimetro elettrico è un ottimo trasduttore, sia per l'elevata sensibilità, che consente di misurare anche deformazioni di  $1/10^6$   $\mu\text{mm}/\text{mm}$ , sia per la risposta in frequenza, dell'ordine del [kHz](#). È un sensore più adatto a misure puntuali di deformazione, che per analisi di deformazioni a campo intero.

### Applicazioni [\[modifica\]](#)

L'estensimetro è l'elemento sensibile della [cella di carico](#), il [trasduttore](#) impiegato nei sistemi di pesatura elettronici.

### Estensimetro a semiconduttori [\[modifica\]](#)

I [sensori piezoresistivi](#) sono un tipo particolare di estensimetri elettrici a resistenza: pur condividendo con gli estensimetri elettrici "classici" molto della struttura, la modalità d'utilizzo e campi d'applicazione, ne differiscono leggermente come principio fisico di funzionamento.

In particolare, al manifestarsi di una deformazione, i sensori piezoresistivi variano la propria resistenza principalmente perché varia la [resistività](#) ([piezoresistività](#)) del materiale sensibile (semiconduttori al silicio o al germanio). Mentre gli estensimetri variano la propria resistenza quasi esclusivamente perché varia la lunghezza e la sezione del conduttore che realizza il sensore.



**A.GOMBA e C.**

Storicamente questi sensori nascono come tecnologia alternativa ai classici estensimetri elettrici a resistenza, diventando nel tempo concorrenziali nelle applicazioni per i trasduttori miniaturizzati o per i trasduttori amplificati economici.