

Estensimetri

Per determinare lo stato di deformazione, carico di rottura, elasticità e così via dei corpi solidi e della tensione (forza) a cui sono sottoposti si utilizzano i metodi sperimentali della Meccanica. Si determinano, cioè, gli spostamenti o le deformazioni a cui sono sottoposti e così si risale alle tensioni.

A tale scopo si utilizzano i sensori di forza, in particolare degli estensimetri il cui principio di funzionamento si basa sulla variazione di resistenza di un conduttore o di un semiconduttore quando è sottoposto ad una pressione, una forza o una sollecitazione meccanica.

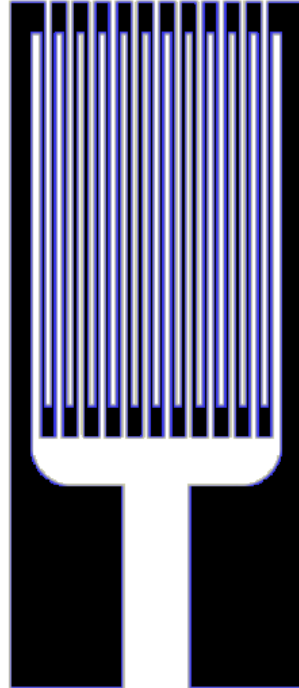
Esso sfrutta la proprietà fisica della resistenza elettrica e la sua dipendenza dalla geometria del conduttore. Quando un conduttore elettrico viene allungato entro i limiti della sua elasticità, in modo tale da non rompersi o deformarsi in modo permanente, diventerà più stretto e più lungo, il che aumenta la resistenza elettrica ai suoi capi. Viceversa, quando un conduttore è compresso in modo tale da non piegarsi, si allargherà e si accorcerà, il che diminuisce la sua resistenza elettrica da un capo all'altro.

Dalla resistenza elettrica misurata dell'estensimetro, è possibile dedurre la quantità di sollecitazione indotta.

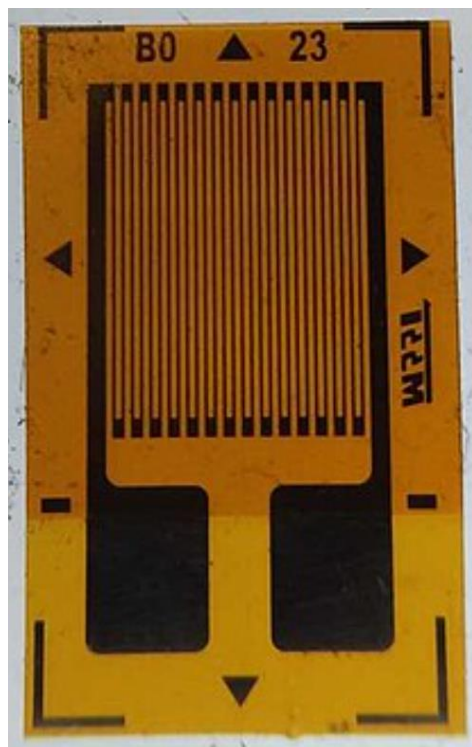
La misura di una forza applicata ad un corpo solido si può ottenere anche misurando la deformazione o la variazione geometrica subita dal corpo. Un classico esempio è dato dalla bilancia pesa persone che è costituita da un piatto che è collegato ad una molla. La forza peso della persona sul piatto deforma la molla che a sua volta è collegata ad un ago indicatore. Lo spostamento dell'ago su di una scala graduata permette di misurare la forza peso.

L'estensimetro a resistenza (o a filo) è costituito da un filo conduttore di materiale ad elevata resistività (manganese, costantana).

il tipo più comune di estensimetro è costituito da un supporto flessibile isolante che supporta un motivo a lamina metallica. Il misuratore è fissato all'oggetto da un adesivo adatto, come il cianoacrilato. Quando l'oggetto si deforma, la lamina si deforma, provocando il cambiamento della sua resistenza elettrica. Questa variazione di resistenza, solitamente misurata utilizzando un ponte di Wheatstone, è correlata alla deformazione dalla quantità nota come fattore di gauge.



Un tipico estensimetro a foglio inciso è rappresentato in figura: la regione nera è conduttiva e la resistenza viene misurata tra i due terminali. L'estensimetro è molto più sensibile alle sollecitazioni in direzione verticale che in direzione orizzontale.



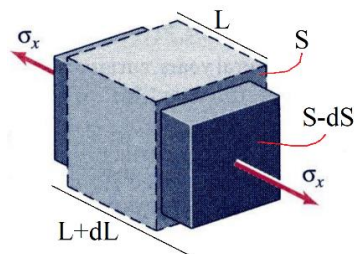
La resistenza elettrica R di un cavo elettrico di lunghezza L , sezione trasversale S e di resistività ρ , è data dalla seguente relazione:

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1)$$

Quando il cavo è sottoposto a una forza F longitudinalmente, i valori di ciascuna delle tre grandezze a secondo membro della (1) possono cambiare, modificando il valore di R . Se dL , dS e $d\rho$ sono rispettivamente le variazioni di L , S e ρ causate dall'applicazione della forza F , e dR è la conseguente variazione di R , si ha:

$$\frac{dR}{R} = \frac{d\rho}{\rho} + \frac{dL}{L} - \frac{dS}{S} \quad (2)$$

La deformazione subita dai materiali elastici è direttamente proporzionale alla forza F ad essi applicata. La costante di proporzionalità dipende dalla natura del materiale.



Nel caso del dinamometro, in cui la forza (elastica) F esercitata da una molla lunga L sollecitata longitudinalmente da una trazione o compressione, è:

$$F = -kdL \quad (3)$$

dove dL è la variazione della lunghezza L della molla a seguito della trazione o compressione, e k è la costante elastica del corpo espressa in $[N/m]$.

La legge di Hooke, lungo la direzione x della forza applicata F , si esprime nel seguente modo:

$$\sigma_x = \frac{F}{S} = E \varepsilon_x = E \frac{dL}{L} \quad (4)$$

dove σ è la tensione o stress meccanico, e ε è la deformazione o coefficiente di dilatazione lineare o strain, ed E è il modulo di elasticità longitudinale di Young e dipende dal tipo di materiale.

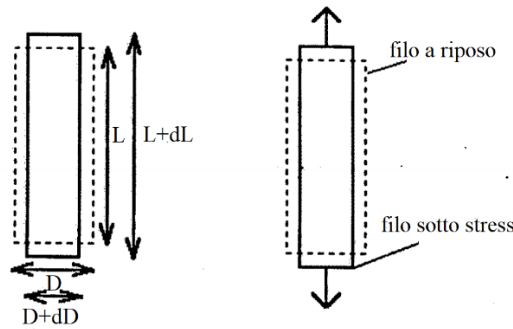
Lungo le direzioni trasversali y e z si ha:

$$\varepsilon_y = \varepsilon_z = -\nu \varepsilon_x \quad (5)$$

dove ν è il coefficiente di Poisson.

Il coefficiente di dilatazione lineare (strain) è dato da:

$$\varepsilon = \frac{L_f - L_i}{L_i} = \frac{(L + dL) - L}{L} = \frac{dL}{L}$$



Per un cavo (filo metallico) di sezione circolare di diametro D , la sezione S è data da:

$$S = \pi \frac{D^2}{4} \quad (6)$$

Per cui, la deformazione dS della sezione S è data da:

$$dS = \pi \frac{D}{2} dD \quad (7)$$

E quindi:

$$\frac{dS}{S} = 2 \frac{dD}{D}$$

La quantità:

$$\nu = - \frac{dD/D}{dL/L}$$

è il coefficiente di Poisson, o coefficiente di contrazione trasversale, e rappresenta il grado con cui il materiale elastico si deforma trasversalmente a seguito di una sollecitazione trasversale. Dipende dal tipo di materiale e dalla temperatura. Per materiali elastici con deformazione longitudinale, lungo la direzione della forza applicata, i valori tipici per ν vanno da 0 a 0,5.

La variazione della resistività conseguente alla tensione (stress) applicata è detta effetto piezoresistivo.

Nei metalli, la variazione della resistività r e del volume V sono proporzionali:

$$\frac{d\rho}{\rho} = C \frac{dV}{V}$$

dove C è la costante di Bridgman.

Per la (6), il volume V vale:

$$V = LS = \pi L \frac{D^2}{4} \quad (8)$$

da cui:

$$\frac{dV}{V} = \frac{dL}{L} + 2 \frac{dD}{D} = \frac{dL}{L} (1 - 2\nu)$$

Per cui, se il materiale è isotropico, all'interno dei limiti di elasticità, la (2) diventa:

$$\frac{dR}{R} = C \frac{dL}{L} (1 - 2\nu) + \frac{dL}{L} + 2\nu \frac{dL}{L} = \frac{dL}{L} (1 + 2\nu + C(1 - 2\nu)) = G \frac{dL}{L} \quad (2)$$

Dove G è il "Gage Factor" o anche costante dell'estensimetro a resistenza elettrica.

In definitiva, nelle condizioni suddette, il valore a cui si porta la resistenza R a seguito di uno stress meccanico è pari a:

$$R_1 = R_0(1 + G\epsilon)$$

Dove R_0 è il valore iniziale della resistenza, ovvero senza stress meccanico. La variazione della resistenza non può superare il 2%.

Quando viene applicata una tensione (stress) a un semiconduttore, domina l'effetto piezoelettrico. In questo caso, la relazione tra la variazione di resistenza e il coefficiente di dilatazione lineare (strain) vale:

per un materiale tipo p:

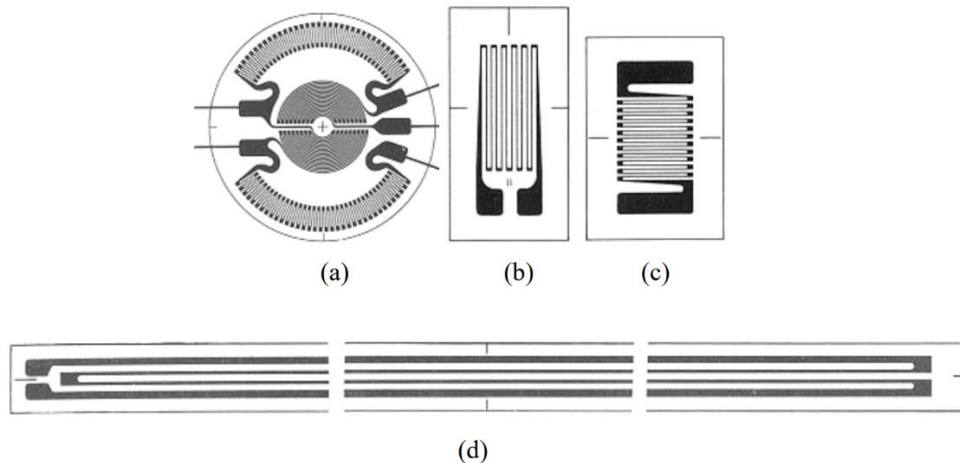
$$\frac{dR}{R} = 119,5\epsilon + 4\epsilon^2$$

Per un materiale di tipo n:

$$\frac{dR}{R} = -110\epsilon + 10\epsilon^2$$

Dove R è la resistenza a 25°C alimentata a corrente costante e in assenza di stress.

Gli estensimetri a lamina la griglia è costituita da una lamina avente uno spessore di circa 5µm e che viene sagomata con un processo di fotoincisione.



Vari tipi di estensimetri fotoincisi: (a) a quattro griglie per trasduttori di pressione, (b) - (c) a griglia singola, (d) a base lunga (150 mm) per misure su calcestruzzo.

Gli estensimetri auto compensati sono ottenuti sottoponendo la lega estensimetrica ad opportuni trattamenti termici.

Estensimetro a foglio

L'estensimetro a foglio a griglia metallica è costituito da una griglia di filamento (resistenza) di circa 0,025 mm di spessore, applicata direttamente sulla superficie da un sottile strato di resina epossidica. Quando un carico viene applicato alla superficie, il conseguente cambiamento di lunghezza in superficie viene comunicato alla resistenza e la deformazione corrispondente viene misurata in termini di resistenza elettrica del filo nel foglio, che varia linearmente con la deformazione stessa.

L'adesivo ha anche la funzione di isolamento elettrico tra la griglia e la superficie del foglio.

Gli estensimetri elettrici a resistenza costituiscono il metodo attualmente più diffuso per:

- l'analisi sperimentale delle tensioni in componenti, macchine e strutture nelle diverse fasi della vita del prodotto: dalla progettazione, alla produzione, al collaudo e al controllo in esercizio;
- la caratterizzazione meccanica dei materiali;
- la costruzione di componenti sensorizzati [meccatronica, robotica, materiali intelligenti (materiali smart)];