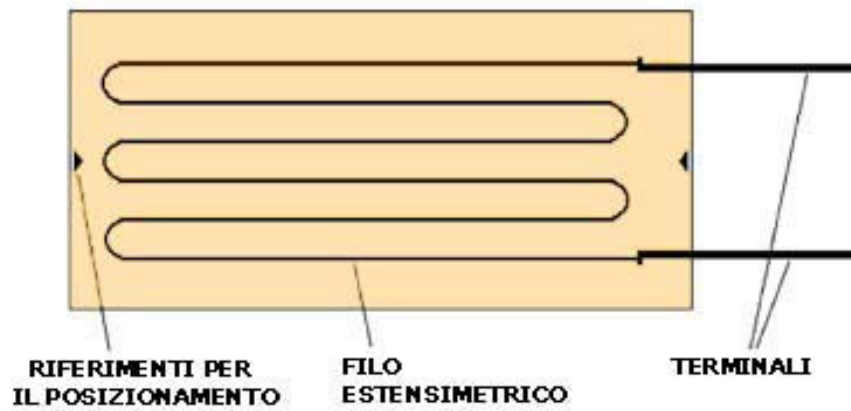
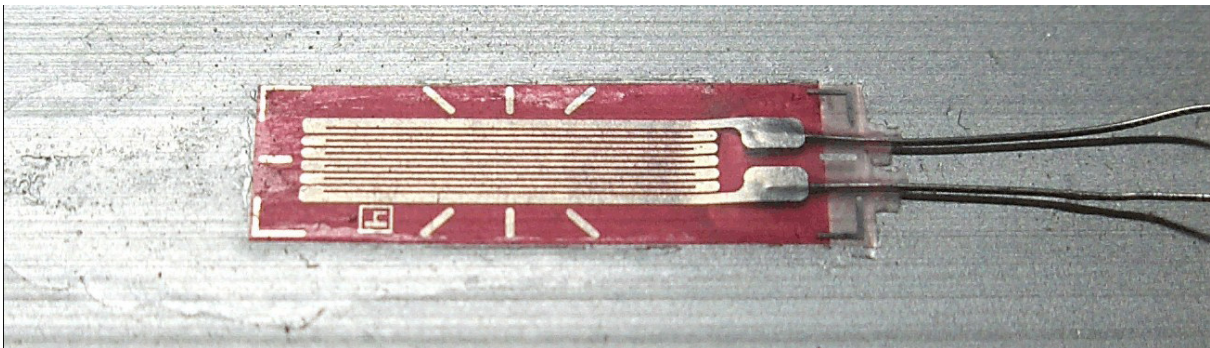


ESTENSIMETRI



Estensimetri

DEFINIZIONE

L'**estensimetro** (*strain gauge*) è un trasduttore utilizzato per rilevare deformazioni dimensionali di un corpo sottoposto a sollecitazioni meccaniche o termiche.

Al contrario, conoscendo precedentemente 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 corretto, possono rilevare la direzione e il verso di queste deformazioni, e di conseguenza dei carichi presenti nel materiale sotto esame.

Tra le moltissime applicazioni degli estensimetri importanti sono:

- la misura della tensione presente in un pezzo meccanico quando si conosce il modulo di elasticità del materiale di cui è costituito;
- la misura del modulo di elasticità del materiale di un pezzo meccanico quando si conosce lo sforzo imposto.

CARATTERISTICHE DELL'ESTENSIMETRO

- la costante di taratura dell'estensimetro deve essere stabile e non variare nel tempo, per effetti termici od altri fattori ambientali.
- deve misurare la deformazione locale e non quella media (quindi lo spostamento relativo tra due punti molto vicini).
- deve avere una buona risposta in frequenza
- deve essere economicamente accessibile per permettere un largo impiego

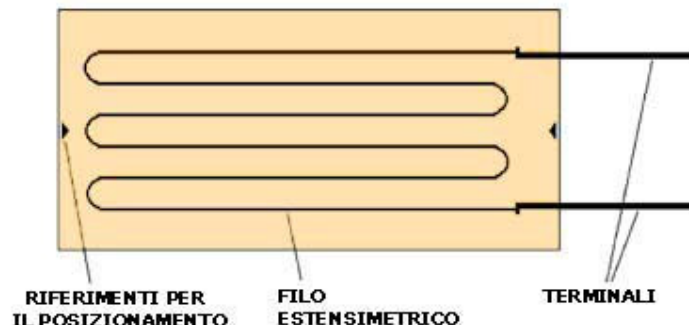
TIPI DI ESTENSIMETRI

Estensimetro elettrico a resistenza

L'estensimetro elettrico a resistenza è sicuramente il tipo di estensimetro più usato ed 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.

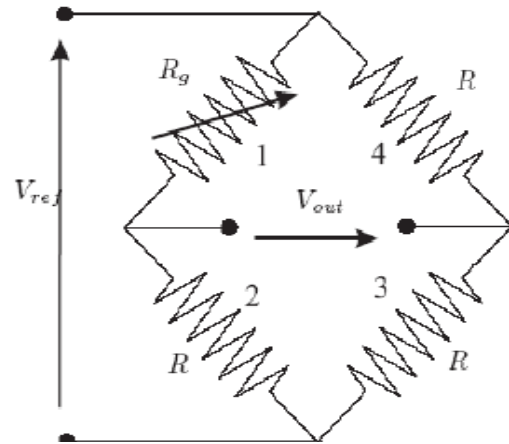
L'estensimetro viene utilizzato incollandolo sulla superficie del corpo di cui si vogliono misurare le deformazioni generalmente utilizzando collanti istantanei come il cianoacrilato. Il filo dell'estensimetro segue le deformazioni della superficie a cui è incollato, allungandosi ed accorciandosi insieme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



causano una variazione della 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 millimetri 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.

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.



Tipi di realizzazione

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.

Estensimetro monoassiale

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 σ si calcola con la relazione:

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

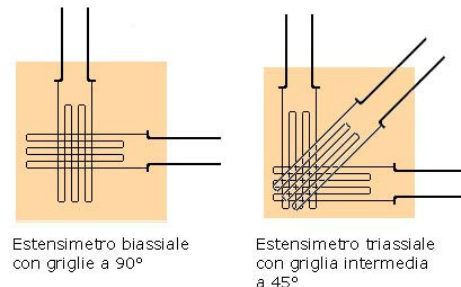
dove E è il modulo di Young del materiale ed ϵ la microdilatazione rilevata dall'estensimetro.

Estensimetro biassiale

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

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 in due diverse direzioni fra loro ortogonali.



Estensimetro biassiale con griglie a 90°

Estensimetro triassiale con griglia intermedia a 45°

Estensimetri triassiali

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 (secondo le direzioni x , y ed a 45° fra esse), è possibile ricavare la coppia delle microdilatazioni principali.

Estensimetro ottico

Tra i primi ad essere realizzati, gli estensimetri ottici funzionavano riflettendo un raggio luminoso attraverso un sistema di specchi e prismi. La deformazione dell'elemento in esame disallineava il sistema ottico e il raggio veniva riflesso con angolazione via via differente. Sebbene la sensibilità di questo sistema di misura poteva essere molto alta, il suo utilizzo poneva seri problemi pratici, specie per le dimensioni del sistema ottico che lo costituiva. Appena possibile è stato sostituito con sistemi di misura più pratici, ed oggi non è più utilizzato.

Le leve ottiche consentono rapporti di amplificazione più elevati delle leve meccaniche.

Estensimetro meccanico

Estensimetri meccanici (a leva meccanica): sono stati i primi ad essere sviluppati in ambito industriale, ma non avendo un accettabile rapporto tra livello di accuratezza e costi di realizzazione, sono stati soppiantati da altri tipi. Un altro limite è costituito dal fatto che gli elementi meccanici presentano inevitabilmente inerzia e attriti che non consentono di fare misure di deformazioni dinamiche.

Gli allungamenti da misurare, in campo elastico su materiali metallici, sono molto piccoli.

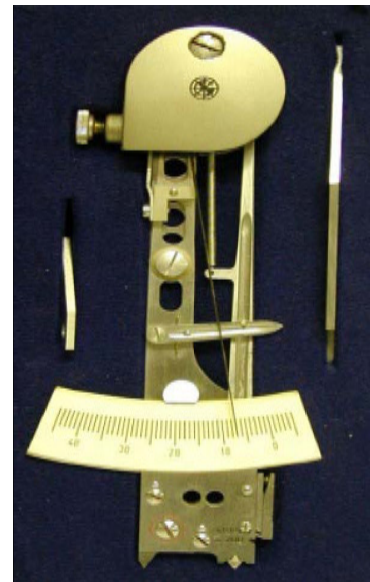
Bisogna quindi ricorrere all'amplificazione per mezzo di viti micrometriche, leve e sistemi di leve o ingranaggi. In un estensimetro meccanico sono presenti in genere:

- due coltelli (o due afferraggi), disposti su di un'apposita incastellatura ad una distanza prefissata che costituisce la base di misura dell'estensimetro. Lo spostamento del coltello mobile rispetto al coltello fisso consente di determinare la deformazione;
- il trasduttore di misura, che trasforma lo spostamento tra i coltelli in un segnale amplificato;

Alcuni degli estensimetri meccanici più conosciuti sono: l'estensimetro di Howard (1888), l'estensimetro di Barry (1910) e l'estensimetro a leve multiple di Huggenberger (1935).

Estensimetro acustico

Una curiosità storica è invece l'estensimetro acustico. Questo strumento si basava sulla rilevazione della variazione di frequenza che subiva un filo metallico teso e messo in vibrazione ai capi di una sezione sottoposta a deformazione: al variare della lunghezza si otteneva una variazione della tonalità del suono.



La seguente tabella riporta i valori rilevati dalla prova di flessione di una provetta, eseguita al DIEM.

Prova di laboratorio

Off – set	
Forza (kN)	Deformazione Δ (μm)
0,02	$3 \cdot 10^{-6}$

Dati sperimentali	
Forza (kN)	Deformazione Δ (μm)
0,51	1031
1	1900
2	3700
3	5450
4	7500
5	10000
0	2000
5,9	11000
0	3700

Dalla tabella si nota che c'è proporzionalità diretta tra la forza e la deformazione. Inoltre si nota che quando viene tolto il carico la deformazione è permanente (è avvenuto lo snervamento del pezzo) evidenziando che non si è più nel campo elastico della provetta.

Estensimetri

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). Il principio di costruzione può essere: meccanico, ottico, elettrico, elettronico ecc.

Al contrario, 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:

- la misura della tensione presente in un pezzo meccanico quando si conosce il modulo di elasticità del materiale di cui è costituito;
- la misura del modulo di elasticità del materiale di un pezzo meccanico quando si conosce lo sforzo imposto;
- analisi statiche e dinamiche di componenti o sistemi meccanici già montati in sito;
- altro...

Estensimetro meccanico a lettura diretta

Lo strumento è costituito da due molle di misura che, nel caso della prova, vengono premute mediante morsetti contro la provetta. Ciascuna delle due molle è provvista di due lame d'appoggio: la lama superiore è spostabile in modo che risulta possibile la scelta di diverse lunghezze di misura mentre quella inferiore è impernata in modo girevole e adisce sul tastatore di un misuratore a quadrante che indica direttamente le variazioni di lunghezza della provetta. Le misure sono effettuate contemporaneamente due volte a mezzo di due comparatori a quadrante. La precisione è di 0.01 mm e la lunghezza di misura è variabile da 3 a 120 mm. Altri estensimetri di questo tipo usano un solo comparatore centesimale.



Estensimetro acustico

Questo strumento si basa sulla rilevazione della variazione di frequenza che subisce un filo metallico teso e messo in vibrazione ai capi di una sezione sottoposta a deformazione: al variare della lunghezza si ottiene una variazione della tonalità del suono.

Estensimetro elettrico a resistenza

L'**estensimetro elettrico a resistenza** è il più utilizzato ed è costituito da una griglia di sottilissimo filo metallico (solitamente costantana) rigidamente applicata su di un supporto di materiale plastico. 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 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 millimetri 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.

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, ΔL la sua variazione, R è la resistenza iniziale del filo e ΔR la sua variazione, allora il gauge factor G_f è pari a:

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

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

Estensimetro monoassiale

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 σ si calcola con la relazione:

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

dove E è il modulo di Young del materiale ed ϵ la microdilatazione rilevata dall'estensimetro.

Estensimetro biassiale

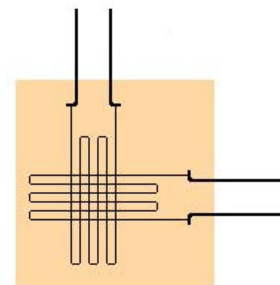
L'estensimetro biassiale, spesso denominato "coppia", si utilizza quando la struttura è sottoposta ad uno stato di tensione lungo un piano. L'estensimetro è costituito da due estensimetri monoassiali disposti con orientazione ruotata di 90° l'uno rispetto all'altro.

I due rami dell'estensimetro forniscono i valori delle microdilatazioni ϵ_x e ϵ_y , in due diverse direzioni fra loro ortogonali. Le tensioni principali σ_x e σ_y , si ottengono in tal caso 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 ν è il modulo di Poisson ed E il modulo di Young.



Estensimetro biassiale con griglie a 90°

Estensimetri triassiali

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 ϵ_x , ϵ_y ed ϵ_b (secondo le direzioni x, y ed a 45° fra esse), è possibile ricavare la coppia delle microdilatazioni principali ϵ_1 ed ϵ_2 , applicando la trattazione analitica del cerchio di Mohr, secondo le relazioni che seguono:

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

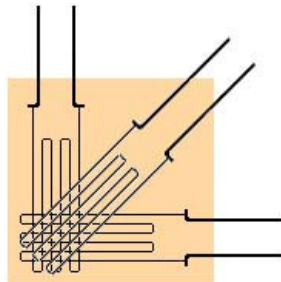
$$\epsilon_2 = \frac{\epsilon_x + \epsilon_y}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{(\epsilon_x - \epsilon_y)^2 + (2\epsilon_b - \epsilon_x - \epsilon_y)^2}$$

Le corrispondenti tensioni principali σ_1 e σ_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 ν è il modulo di Poisson ed E il modulo di Young del materiale oggetto della misura.



Estensimetro triassiale con griglia intermedia a 45°

Prova di laboratorio

Off – set	
Forza (kN)	Deformazione Δ (μm)
0,02	$3 \cdot 10^{-6}$

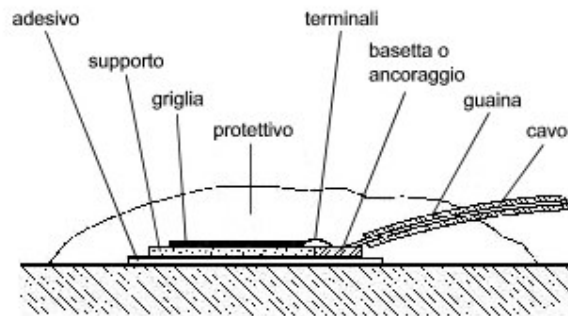
Dati sperimentali	
Forza (kN)	Deformazione Δ (μm)
0,51	1031
1	1900
2	3700
3	5450
4	7500
5	10000
0	2000
5,9	11000
0	3700

Dai dati rilevati si capisce che, già dopo aver applicato un carico di 5 kN, vi è stato uno snervamento del pezzo in quanto, tolto il carico, il provino mantiene ancora una deformazione di 2000 μm .

Estensimetri elettrici

Marco Lambertini 5°B1 09/02/2010

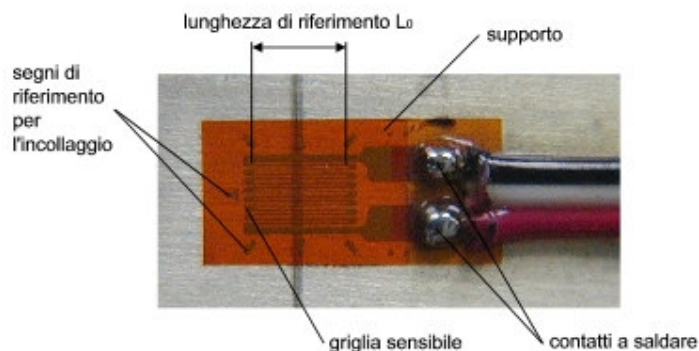
Gli estensimetri elettrici, chiamati anche ER, sono applicati, generalmente per incollaggio, sulla superficie dell'oggetto sottoposto a misura.



Schema di fissaggio di un ER

Essi sono costituiti da una griglia in materiale resistivo, che costituisce la parte sensibile dello strumento, da un supporto, che funge da interfaccia e da isolante elettrico nei confronti del materiale su cui effettuare le misure, e dai terminali elettrici, che collegano la griglia resistiva agli altri elementi che costituiscono il circuito di misura.

La deformazione del materiale sul quale è applicato un ER produce una deformazione della griglia che, essendo un conduttore elettrico, cambia di resistenza: la variazione di tale caratteristica costituisce il segnale di misura.

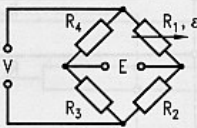
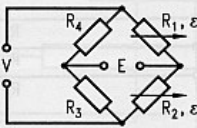
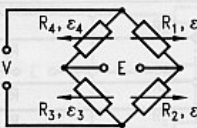


Schema costitutivo di un ER

La massima sensibilità dello strumento è nella direzione del proprio asse principale (longitudinale) ed il segnale elettrico ricavato è proporzionale alla deformazione secondo un coefficiente K (fattore di taratura) di progetto, verificato in sede di produzione.

Poiché la variazione di resistenza è estremamente ridotta, per la sua misura si ricorre all'inserimento dell'ER in un circuito elettrico noto come "ponte di Wheatstone", in grado di amplificare fisicamente questa variazione. Di questa struttura elettrica si utilizzano tre configurazioni diverse, ovvero la configurazione a ponte intero, con quattro estensimetri a bordo dell'elemento da sottoporre a misura ("attivi"), la configurazione a mezzo ponte, con due estensimetri "attivi" e due "passivi" o di riscontro (in genere a bordo

dell'apparecchiatura di misura), e quella a quarto di ponte, con un solo estensimetro "attivo" e tre "passivi".

Collegamento	Schema	Deformazione totale	Impieghi
quarto di ponte		$\epsilon_T = \epsilon_1$	<ul style="list-style-type: none"> - ER autocompensati - Prove dinamiche - Prove ad alta e bassa temperatura
mezzo ponte		$\epsilon_T = \epsilon_1 - \epsilon_2$	<ul style="list-style-type: none"> - Compensazione della ϵ_a - Eliminazione deformazioni spurie - Aumento segnale di misura
ponte intero		$\epsilon_T = \epsilon_1 - \epsilon_2 + \epsilon_3 - \epsilon_4$	<ul style="list-style-type: none"> - Compensazione della ϵ_a - Eliminazione deformazioni spurie - Aumento segnale di misura - Trasduttori

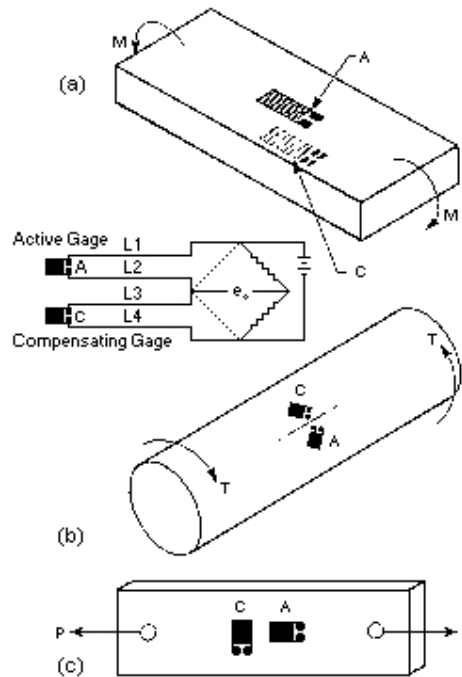
Tipi di collegamento dell'ER al ponte

Il posizionamento degli ER a bordo dell'elemento da sottoporre a misura deve essere valutato opportunamente, così come la tipologia di configurazione del circuito: il risultato della misura è influenzato sia dalla coincidenza o meno della direzione principale della sollecitazione con quella di maggior sensibilità del singolo ER, sia dalla scelta della posizione degli ER sull'elemento in funzione della loro sequenza elettrica nel circuito di misura, in quanto elementi elettricamente adiacenti producono segnali di segno opposto. Da questa osservazione si evince che, in casi specifici, si può ottenere un'amplificazione del segnale disponendo opportunamente gli ER: nel caso della valutazione di un momento flettente ciò è attuabile posizionando ER elettricamente adiacenti sulle facce opposte (inferiore e superiore nei confronti della sollecitazione) dell'elemento in esame, sia nella configurazione a mezzo ponte che a ponte intero; nel caso di un elemento sollecitato a trazione, si può ottenere un'amplificazione del segnale posizionando ER elettricamente adiacenti in posizione rispettivamente longitudinale e trasversale, ove si consideri il coefficiente di Poisson nella valutazione complessiva della deformazione. Un ottima dimostrazione di questa prova ci è stata data alla visita al D.I.E.M. di Bologna dove ci è stata illustrata una prova di trazione con applicato un ER che ha ricavato i seguenti dati:

Off – set	
Forza (kN)	Deformazione Δ (μm)
0,02	$3 \cdot 10^{-6}$

Dati sperimentali	
Forza (kN)	Deformazione Δ (μm)
0,51	1031
1	1900
2	3700
3	5450
4	7500
5	10000
0	2000
5,9	11000
0	3700

Con analoghe considerazioni è usuale effettuare la compensazione in temperatura ove il coefficiente di dilatazione del materiale non fosse noto, non fosse possibile valutare la variazione di temperatura nell'arco della prova o non fosse possibile utilizzare degli ER opportunamente compensati: ponendo infatti, ad esempio in un "mezzo ponte", uno dei due ER elettricamente adiacenti su di un elemento opportunamente scelto e non sollecitato da alcun carico, questi, misurando la dilatazione o la contrazione dovuta al solo effetto termico, automaticamente la sottrae dal valore complessivo della misurazione.



Esempi illustranti l'uso del secondo ER ("C" compensatore) in rami adiacenti del ponte di Wheatstone per compensare l'effetto della temperatura.

Al di là dell'effettiva versatilità e economicità d'impiego, è necessario evidenziare come gli ER, se utilizzati senza particolari attenzioni, possano produrre delle misure affette da un'incertezza difficilmente determinabile, in quanto essi risultano sensibili a molti fattori: tralasciando l'incertezza intrinseca dello strumento di misura, ben dichiarata dal produttore per ogni caratteristica costruttiva e quindi predeterminabile, vi è l'influenza delle condizioni al contorno - non ultima la presenza di umidità, fonte di shunt -, l'incertezza nella valutazione del corretto posizionamento dello strumento - dovuta alle sue ridotte dimensioni - e, non meno importante, la difficoltà, sempre per personale non esperto, di effettuare un incollaggio assolutamente corretto.

Tuttavia il risultato è ben diverso se le installazioni vengono effettuate da personale esperto in ambiente controllato e se è possibile effettuare un'attenta verifica preventiva della risposta della strumentazione così ottenuta, ottenendo un'incertezza estremamente bassa ed una stabilità di risposta notevole. Tale verifica non rappresenta altro se non una taratura dello strumento appena prodotto: bisogna ricordare, infatti, che gli ER sono usati spesso come trasduttori di segnale per la costruzione di celle di carico, di celle manometriche e così via, strumenti dotati di un'incertezza estremamente bassa ed una stabilità di risposta notevole.

Gli estensimetri

Relazione di **Enrico Scorzoni**

5B1

Gli estensimetri sono dei sensori che rilevano deformazioni meccaniche e ne esistono di vari tipi, il più diffuso e usato è quello che funziona tramite variazioni di resistenza in relazione con la variazione di lunghezza.

Esso serve per misurare la forza incidente su un oggetto, non sempre facilmente ricavabile, grazie alla deformazione rilevata.

Gli estensimetri a resistenza sono costituiti da un elemento sensibile (di materiale metallico o semiconduttore), la cui resistenza varia a seguito di deformazioni, a causa di variazioni della geometria.

Gli estensimetri metallici sono ricavati su di un supporto isolante su cui viene depositata una traccia di lega metallica (tipicamente nichel, nichel-cromo, manganina, costantana, platino) avente una forma a zig-zag per aumentare la deformazione complessiva.

La dimensione tipica di un estensimetro metallico è di circa 1 cm quadrato.

Gli estensimetri a semiconduttore sono invece costituiti di silicio opportunamente drogato.

La sensibilità di questi sensori è molto più elevata rispetto agli estensimetri metallici e quindi forniscono un segnale molto più forte a parità di superficie utile. Per questo motivo gli estensimetri a semiconduttore sono estremamente piccoli (valori tipici sono dell'ordine di 0.5 mm quadrati).

Di contro sono molto sensibili alla variazione di temperatura ambientale e sono di difficile manipolazione a causa della loro piccola dimensione.

La deformazione rilevata dagli estensimetri viene calcolata tramite la legge di **Hooke**: quando una forza agisce su di una struttura meccanica in regime di elasticità questa si deforma di una quantità approssimativamente proporzionale alla forza incidente secondo la legge di Hooke:

$$\sigma = E \frac{\Delta l}{l}$$

σ è la forza normale riferita all'unità di superficie

E è una costante di proporzionalità, detta *modulo di Young*

$\Delta l/l$ è la deformazione relativa.

Quindi se prendiamo come esempio un corpo cilindrico di lunghezza l e sezione S sottoposto ad una forza F longitudinale risulta:

$$\sigma = \frac{F}{S} = E \frac{\Delta l}{l}$$

L'allungamento (o accorciamento) è quindi:

$$\Delta l = \frac{l F}{E S} = \frac{1}{C} F$$

Il termine $C = SE/l$ viene chiamato costante elastica del materiale, che dipende da caratteristiche geometriche (S e l) e fisiche (E) del corpo.

Oltre all'allungamento il materiale subisce una diminuzione della sezione pari a:

$$\frac{\Delta S}{S} = -2\mu \frac{\Delta l}{l}$$

Il parametro μ viene anche detto modulo di Poisson e vale circa 0.3 per quasi tutti i metalli.

La resistenza di un estensimetro a sezione costante S e di lunghezza l è espressa da:

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

essendo ρ la resistività del materiale.

Il differenziale della resistenza vale:

$$\frac{dR}{R} = \frac{d\rho}{\rho} + \frac{dl}{l} - \frac{dS}{S}$$

Trascurando il primo termine, che indica variazioni di resistività indipendenti dalle variazioni della geometria, e sostituendo si ottiene:

$$\frac{dR}{R} = \frac{dl}{l} + 2\mu \frac{dl}{l} = (1 + 2\mu) \frac{dl}{l} = K \frac{dl}{l}$$

Il parametro $K = (1 + 2\mu)$ è detto *costante di taratura* o *gauge factor* e misura la sensibilità dell'estensimetro.

Valori tipici di gauge factor per diversi tipi di estensimetri

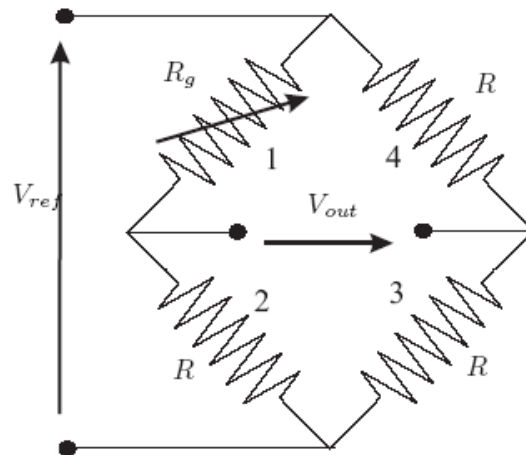
<i>Materiale</i>	<i>gauge factor</i>
Metalli conduttori	≈ 2
Manganese	0.5
Nichel	12
Materiali semiconduttori	> 100

E' possibile calcolare l'entità della forza che imprime la deformazione, infatti (confondendo il differenziale d e la variazione Δ):

$$F = ES \frac{\Delta l}{l} = \frac{ES}{K} \frac{\Delta R}{R}$$

L'acquisizione del segnale generato dall'estensimetro non è semplice, in quanto la sua entità, soprattutto per estensimetri metallici, è molto modesta.

Nella quasi totalità dei casi si utilizza una configurazione a ponte di Wheatstone con le resistenze di riferimento 1,2,3 tutte di egual valore R e la resistenza di misura (estensimetro) R_g .



L'equazione del circuito vale:

$$V_{out} = V_{ref} \left(\frac{R}{2R} - \frac{R}{R + R_g} \right)$$

Se la resistenza di misura R_g a riposo ha una resistenza pari a R , allora in assenza di deformazione il ponte è perfettamente bilanciato e quindi:

$$V_{out} = 0$$

Noi all'università abbiamo eseguito una prova di flessione semplice di un proviamo vincolato su 2 punti.

I dati raccolti sono scritti in questa tabella.

Off – set	
Forza (kN)	Deformazione Δ (μm)
0,02	$3 \cdot 10^{-6}$

Dati sperimentali	
Forza (kN)	Deformazione Δ (μm)
0,51	1031
1	1900
2	3700
3	5450
4	7500
5	10000
0	2000
5,9	11000
0	3700

Si nota benissimo dal terzo e dall'ultimo risultato che si era già usciti dal campo elastico in quanto a una sollecitazione di 0kN il proviamo era comunque deformato.

Estensimetri

Definizione:

L'estensimetro è uno strumento di misura utilizzato per rilevare piccole deformazioni dimensionali di un corpo sottoposto a sollecitazioni meccaniche o termiche.

Tipi di estensimetri

Estensimetri meccanici (a leva meccanica): sono stati i primi ad essere sviluppati in ambito industriale, ma non avendo un accettabile rapporto tra livello di accuratezza e costi di realizzazione, sono stati soppiantati da altri tipi. Un altro limite è costituito dal fatto che gli elementi meccanici presentano inevitabilmente inerzia e attriti che non consentono di fare misure di deformazioni dinamiche.

Estensimetri ottici: garantiscono elevate accuratezze, ma a causa dell'elevato costo sono generalmente impiegati solo in laboratori metrologici.

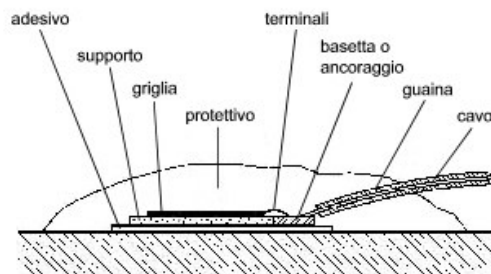
Estensimetri acustici: usano il principio fisico che una corda emette onde sonore a differente frequenza a seconda della tensione della corda, ma sono usati pochissimo perché si riescono a fare solo misurazioni molto grossolane, in compenso hanno un bassissimo costo.

Estensimetri elettrici a resistenza: i più diffusi e più economici, realizzabili in diverse dimensioni, generalmente di ottima accuratezza, con semplice circuito di lettura.

ESTENSIMETRI ELETTRICI

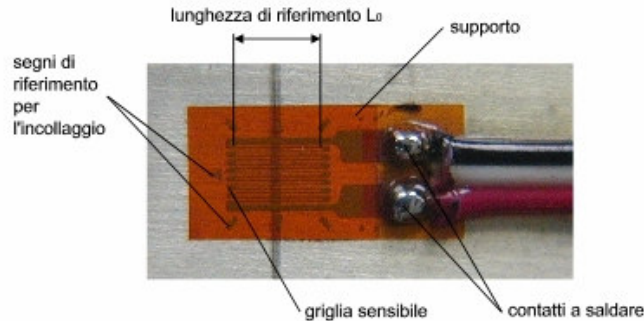
Dato che sono i più diffusi e i più versatili e utilizzati prenderemo in esame solo gli estensimetri elettrici.

Gli estensimetri elettrici, o ER, sono applicati, generalmente per incollaggio, sulla superficie dell'oggetto sottoposto a misura.



Essi sono costituiti da una griglia in materiale resistivo, che costituisce la parte sensibile dello strumento, da un supporto, che funge da interfaccia e da isolante elettrico nei confronti del materiale su cui effettuare le misure, e dai terminali elettrici, che collegano la griglia resistiva agli altri elementi che costituiscono il circuito di misura.

La deformazione del materiale sul quale è applicato un ER produce una deformazione della griglia che, essendo un conduttore elettrico, cambia di resistenza: la variazione di tale caratteristica costituisce il segnale di misura.



La massima sensibilità dello strumento è nella direzione del proprio asse principale (longitudinale) ed il segnale elettrico ricavato è proporzionale alla deformazione secondo un coefficiente K (fattore di taratura) di progetto, verificato in sede di produzione. Poiché la variazione di resistenza è estremamente ridotta, per la sua misura si ricorre all'inserimento dell'ER in un circuito elettrico noto come "ponte di Wheatstone", in grado di amplificare fisicamente questa variazione.

Al di là dell'effettiva versatilità e economicità d'impiego, è necessario evidenziare come gli ER, se utilizzati senza particolari attenzioni, possano produrre delle misure affette da un'incertezza difficilmente determinabile, in quanto essi risultano sensibili a molti fattori: tralasciando l'incertezza intrinseca dello strumento di misura, ben dichiarata dal produttore per ogni caratteristica costruttiva e quindi predeterminabile, vi è l'influenza delle condizioni al contorno (es: presenza di umidità), l'incertezza nella valutazione del corretto posizionamento dello strumento dovuta alle sue ridotte dimensioni e, non meno importante, la difficoltà di effettuare un incollaggio assolutamente corretto. Inoltre se non si riflette attentamente sulla posizione dove incollare l'estensimetro, si potrebbero registrare valori nulli dove invece ci sono deformazioni, o valori completamente sbagliati.

Prova di laboratorio all'università

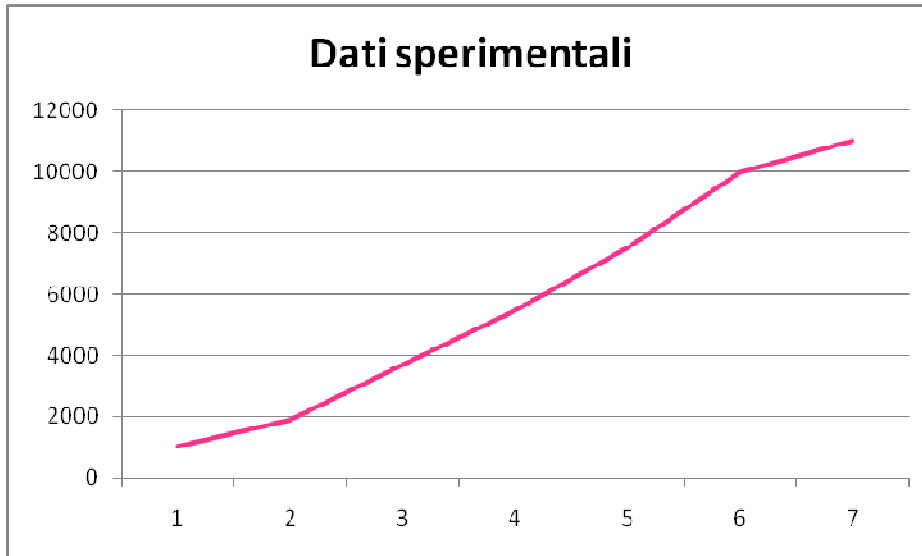
Nella prova eseguita nel laboratorio dell'università di ingegneria di Bologna, è stato applicato un ER ad un provino di alluminio sottoposto a flessione.

Di seguito è riportata la tabella con i dati sperimentali ottenuti:

Off – set	
Forza (kN)	Deformazione Δ (μm)
0,02	$3 \cdot 10^{-6}$

Dati sperimentali	
Forza (kN)	Deformazione Δ (μm)
0,51	1031
1	1900
2	3700
3	5450
4	7500
5	10000
0	2000
5,9	11000
0	3700

Con i precedenti dati si crea il seguente grafico:



Da questo grafico si nota che la prova è stata svolta nel campo elastico del provino dato che vi è una proporzionalità diretta tra la deformazione e il carico, ad eccezione dell'ultimo valore dove probabilmente si è superato il campo elastico e il provino si è deformato in modo plastico. Il primo dato probabilmente non è allineato con la retta a causa delle deformazioni che si creano al primo contatto tra il provino e l'applicatore di carico; inoltre può essere dovuto anche alle tensioni iniziali del pezzo.