

A09

Vai al contenuto multimediale



A Giuseppe Manzella (Palermo, 1898 - 1987). Emerito dell'Università degli Studi di Palermo, ordinario di Costruzione di macchine, pioniere dell'analisi sperimentale delle tensioni.

Augusto Ajovalast, Donatella Cerniglia
Giovanni Petrucci, Giuseppe Pitarresi

Introduzione alla meccanica sperimentale dei solidi





Aracne editrice

www.aracneeditrice.it
info@aracneeditrice.it

Copyright © MMXVIII

Gioacchino Onorati editore S.r.l. — unipersonale

www.gioacchinoonoratieditore.it
info@gioacchinoonoratieditore.it

via Vittorio Veneto, 20
00020 Canterano (RM)
(06) 45551463

ISBN 978-88-255-1152-9

*I diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica,
di riproduzione e di adattamento anche parziale,
con qualsiasi mezzo, sono riservati per tutti i Paesi.*

*Non sono assolutamente consentite le fotocopie
senza il permesso scritto dell'Editore.*

I edizione: marzo 2018

Indice

- 7 Prefazione
Augusto Ajovalasit, Donatella Cerniglia, Giovanni Petrucci, Giuseppe Pitarresi.
- 9 Estensimetri Elettrici a Resistenza
Augusto Ajovalasit
- 45 Fotoelasticità
Augusto Ajovalasit
- 71 Metodi del Moiré
Augusto Ajovalasit
- 85 Olografia
Augusto Ajovalasit
- 101 Metodi Speckle
Augusto Ajovalasit
- 111 Tecniche a correlazione di immagini digitali
Giovanni Petrucci, Giuseppe Pitarresi
- 157 Tecniche basate sull'Effetto Termoelastico
Giuseppe Pitarresi
- 191 Metodo Ultrasonoro per i controlli non-distruttivi
Donatella Cerniglia
- 205 Le immagini digitali
Giovanni Petrucci

Prefazione

AUGUSTO AJOVALASIT*, DONATELLA CERNIGLIA†,
GIOVANNI PETRUCCI‡, GIUSEPPE PITARRESI§

Questo volume presenta una breve introduzione ai metodi della *Meccanica Sperimentale dei Solidi* con riferimento sia ai metodi di *Analisi Sperimentale delle Tensioni* sia ai metodi per i *Controlli non Distruttivi*. In particolare il volume presenta i seguenti metodi: estensimetria mediante estensimetri elettrici a resistenza, fotoelasticità, moirè, interferometria olografica e speckle, correlazione di immagini digitali, effetto termoelastico, controlli non distruttivi con ultrasuoni ed elaborazione delle immagini in Meccanica.

Il libro si rivolge agli studenti di Ingegneria (in particolare Ingegneria Meccanica e Ingegneria Civile) dei corsi di laurea triennale e magistrale al fine di consentire una conoscenza di base dei metodi della Meccanica Sperimentale dei Solidi.

Il libro inoltre si propone come testo di riferimento per coloro che operano nel campo del collaudo, la caratterizzazione meccanica ed il monitoraggio di materiali, componenti meccanici e strutture, e come testo di interesse per coloro che intendono conseguire la *Certificazione* nella qualità di “*Personale addetto alle prove non distruttiva*” per quanto riguarda metodi estensimetrici, ultrasuoni e termografia ad infrarossi (ad esempio secondo la norma ISO 9712).

* Professore ordinario a.r. di Analisi Sperimentale delle Tensioni presso l'Università degli Studi di Palermo.

† Professore Associato di Costruzioni di Macchine (settore scientifico disciplinare ing-ind/14) presso il Dipartimento dell'Innovazione Industriale e Digitale (DIID) dell'Università degli Studi di Palermo.

‡ Professore Ordinario di Complementi di Costruzioni di Macchine (settore scientifico disciplinare ing-ind/14) presso il Dipartimento dell'Innovazione Industriale e Digitale (DIID) dell'Università degli Studi di Palermo.

§ Professore Associato di Analisi Sperimentale delle Tensioni (settore scientifico disciplinare ing-ind/14) presso il Dipartimento dell'Innovazione Industriale e Digitale (DIID) dell'Università degli Studi di Palermo.

Estensimetri elettrici a resistenza

AUGUSTO AJOVALASIT¹

SOMMARIO: 1. Introduzione, 9 - 2. I componenti dell'estensimetro installato, 12 - 3. Le caratteristiche dell'estensimetro, 18 - 4. Circuiti di misura, 28 - 5. La misura della deformazione nel caso delle sollecitazioni semplici, 31 - 6. Misura dello stato di deformazione, 35 - Appendice A. Esercizi, 41 - 7. Riferimenti bibliografici, 43.

1. Introduzione

Gli estensimetri elettrici a resistenza trovano largo impiego nella Meccanica sperimentale dei solidi non solo per l'analisi delle deformazioni ma anche per la realizzazione di trasduttori per la misura di grandezze meccaniche. Molto ampia è di conseguenza la letteratura tecnica sugli estensimetri. Nella bibliografia si riportano riferimenti di carattere generale relativi a libri [1-5], norme tecniche [6-9] e siti internet riguardanti gli ER, gli accessori e la certificazione del Personale addetto alle prove estensimetriche [10-15].

Mediante gli estensimetri si misura la deformazione media ε nell'intorno di un punto P in una direzione assegnata θ (Figura 1):

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} \quad (1)$$

dove l_0 è la *base di misura* dell'estensimetro, cioè la distanza sulla quale si misura la variazione di lunghezza $l - l_0$. La deformazione è una grandezza adimensionale (m/m).

Dato che le variazioni di lunghezza sono piccole si usano di solito dei sottomultipli. In campo elastico l'unità più usata è il $\mu\text{m}/\text{m}$ ($1 \mu\text{m}/\text{m} = 10^{-6} \text{ m}/\text{m}$), a titolo di esempio si noti che una sbarra di acciaio soggetta a trazione con una tensione $\sigma = 200 \text{ N}/\text{mm}^2$ manifesta una deformazione di circa $1000 \mu\text{m}/\text{m}$.

¹ Professore ordinario a.r. di Analisi Sperimentale delle Tensioni presso l'Università degli Studi di Palermo.

In questo capitolo si presenta una rassegna sintetica riguardante gli estensimetri elettrici a resistenza con riferimento ai seguenti aspetti:

1) componenti dell'installazione estensimetrica; 2) principali caratteristiche di funzionamento; 3) circuiti di misura; 4) determinazione dello stato di deformazione e di tensione su materiali isotropi e anisotropi.

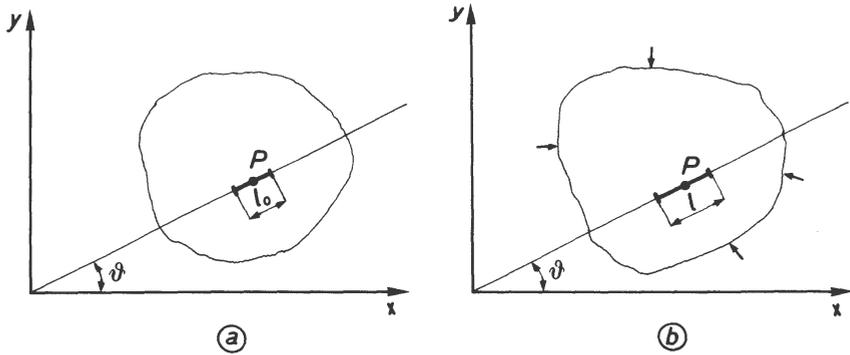


Figura 1. Misura della deformazione nell'intorno del punto P nella direzione θ : (a) struttura scarica, (b) struttura carica.

1.1. Principio

Gli estensimetri elettrici a resistenza (ER) si basano sulla misura della variazione di resistenza elettrica subita da un conduttore sottoposto a deformazione. La scoperta di tale effetto è accreditata a Lord Kelvin.

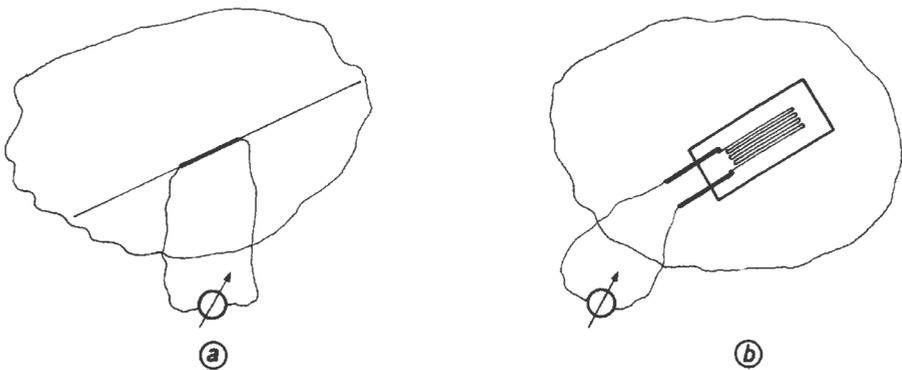


Figura 2. La misura delle deformazioni mediante ER: (a) il principio, (b) la pratica.

In linea di principio (Figura 2-a) basta quindi incollare sul componente un filo conduttore e misurare la variazione di resistenza elettrica dovuta alla deformazione che il componente trasmette al filo. L'applicazione pratica del

suddetto principio di misura si ha solo alla fine degli anni 30 con l'introduzione commerciale degli ER (Figura 2-b) la cui invenzione è accreditata agli Americani Simmons e Ruge; invece del singolo filamento si usa una griglia per ottenere un'adeguata resistenza elettrica (120 Ω al minimo).

1.2. Tipo di informazione sperimentale e relazione caratteristica

L'estensimetro elettrico a resistenza (ER) consente di determinare la deformazione ε attraverso la misura della variazione di resistenza elettrica subita dalla griglia dell'ER installato sul componente da analizzare mediante la relazione:

$$\varepsilon = \frac{1}{K} \frac{\Delta R}{R_o} \quad (2)$$

dove K è il *fattore di taratura* dell'ER, R_o e ΔR indicano rispettivamente la resistenza iniziale e la variazione di resistenza dell'ER installato.

1.3. Campi tensionali e materiali esaminabili

L'estensimetria mediante ER è un metodo per punti adatto alla misura di deformazioni elastiche e plastiche su qualsiasi materiale. In genere la misura delle deformazioni nell'intorno di un punto P non si effettua mediante estensimetri singoli disposti secondo direzioni assegnate, ma mediante le *rosette estensimetriche* (cap. 6.1). Con la tecnica degli *estensimetri inglobati* - applicabile a modelli in resina, ai laminati compositi ed al calcestruzzo - è possibile l'analisi delle deformazioni all'interno dei solidi.

Gli estensimetri elettrici a resistenza sono in pratica applicabili a qualsiasi materiale. E' solo richiesta una adeguata preparazione della superficie in corrispondenza della zona dove viene installato l'estensimetro.

1.4. Altre caratteristiche

Si tratta di un metodo adatto alla misura di deformazioni anche alle basse ed alte temperature. La risoluzione tipica, con l'usuale strumentazione, è di 1 $\mu\text{m/m}$ mentre il campo di misura è compreso, a seconda del tipo di estensimetro, tra 5.000 e 50.000 $\mu\text{m/m}$ (fino a 200.000 $\mu\text{m/m}$ con ER speciali).

L'estensimetria mediante ER è di ampia applicazione grazie ad una serie di vantaggi quali: 1) il basso costo; 2) l'elevata risoluzione; 3) l'ampio campo di misura; 4) la vasta disponibilità di basi di misura; 5) la possibilità di operare in cantiere ed in ambiente ostile; 6) la possibilità di acquisire ed elaborare in modo automatico i risultati.

1.5. Simboli principali ed abbreviazioni

ER	estensimetro elettrico a resistenza
K	fattore di taratura dell'estensimetro
K_l	fattore di taratura longitudinale
K_t	fattore di taratura trasversale
l_o	base di misura dell'estensimetro
P'_e	densità di potenza ammissibile nella griglia dell'estensimetro
R_e	resistenza elettrica dell'estensimetro non installato
R_i	resistenza di isolamento
R_o	resistenza elettrica dell'ER installato ma non deformato
S_t	sensibilità trasversale
β_e	coefficiente di temperatura dell'insieme corpo-ER
β_k	coefficiente di temperatura del fattore di taratura
$\Delta\mathcal{E}_o$	deriva dell'estensimetro
\mathcal{E}_a	risposta termica (deformazione termica apparente) dell'ER
\mathcal{E}_{ac}	risposta termica (deformazione termica apparente) dei cavi
$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \gamma_{12}$	deformazioni riferite agli assi principali del materiale (materiali ortotropi)
$\varepsilon_p, \varepsilon_q$	deformazioni principali
$\sigma_1, \sigma_2, \tau_{12}$	tensioni riferite agli assi principali del materiale (materiali ortotropi)
σ_p, σ_q	tensioni principali

2. I componenti dell'estensimetro installato

Un ER è costituito (Figura 3) da una *griglia estensimetrica* disposta su di un *supporto* che viene applicato alla struttura mediante un *adesivo*; un opportuno *protettivo* completa l'installazione.

La struttura trasferisce la deformazione, tramite l'adesivo ed il supporto, alla griglia estensimetrica che mediante conduttori terminali viene inserita nel ponte di Wheatstone per la misura della resistenza. Dalla misura della variazione di resistenza subita dalla griglia si risale quindi alla deformazione mediante la relazione (2).

I componenti fondamentali di un estensimetro installato sono pertanto: 1) la griglia estensimetrica, 2) il supporto, 3) l'adesivo, 4) il protettivo.

Nel seguito si forniscono notizie essenziali sui componenti dell'ER installato.

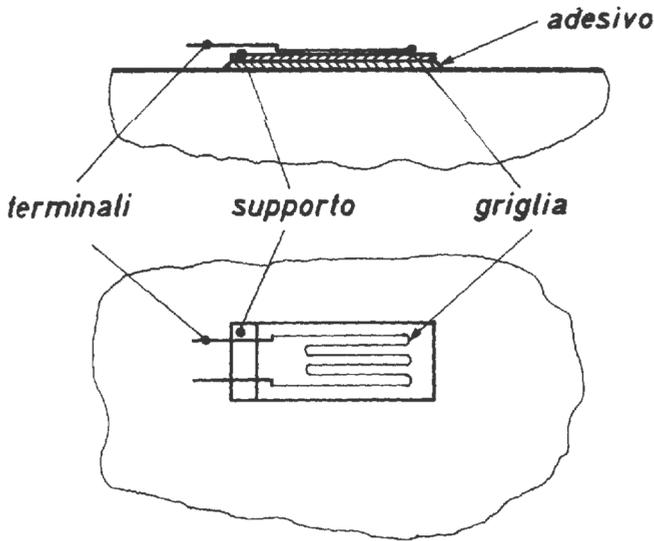


Figura 3. I componenti di un estensimetro elettrico a resistenza installato (N.B.: non è indicato il protettivo).

2.1. La griglia estensimetrica

La caratteristica più importante della lega estensimetrica che costituisce la griglia è la *sensibilità alla deformazione* S :

$$S = \frac{\Delta R/R}{\varepsilon} \quad (3)$$

La sensibilità alla deformazione è cioè il rapporto tra la variazione relativa di resistenza elettrica di un filo di lega estensimetrica e la deformazione assiale ε applicata al filo stesso.

Dal fatto che la resistenza elettrica R di un conduttore di lunghezza l , sezione S e resistività ρ è:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (4)$$

segue che la variazione di resistenza è dovuta alla variazione: 1) delle dimensioni del filo; 2) della resistività stessa del filo. Partendo dalla relazione (4) si ricava la sensibilità alla deformazione del filo:

$$S = \frac{\Delta R/R}{\varepsilon} = (1 + 2\nu) + \frac{d\rho/\rho}{\varepsilon} \quad (5)$$

La relazione precedente mostra che la sensibilità alla deformazione S è la somma di due effetti:

- l'effetto geometrico $(1 + 2 \nu)$;
- l'effetto piezoresistivo $(d\rho/\rho)/\epsilon$.

L'effetto geometrico è dovuto alla variazione delle dimensioni del filo; il contributo di tale effetto alla sensibilità alla deformazione S è mediamente 1,6 (supposto il coefficiente di Poisson $\nu=0,3$). L'effetto piezoresistivo è dovuto alla variazione della resistività con la deformazione. Per le leghe estensimetriche più usate la sensibilità alla deformazione è circa 2,1 e quindi l'effetto piezoresistivo risulta 0,5.

Una buona lega estensimetrica deve possedere i seguenti requisiti:

- sensibilità alla deformazione elevata e costante entro un largo campo di deformazione;
- resistività elevata in modo da realizzare la resistenza richiesta (120Ω al minimo) con poche spire e con una piccola base di misura;
- coefficiente di temperatura della resistenza:

$$\beta = \frac{\Delta R/R}{\Delta T} \quad (6)$$

basso in modo da diminuire l'influenza delle variazioni di temperatura sulla misura delle deformazioni.

La tabella 1 mostra le caratteristiche di alcune leghe estensimetriche.

Tabella 1. Caratteristiche di alcune leghe estensimetriche. (S = sensibilità alla deformazione, ρ = resistività, β = coefficiente di temperatura della resistenza).

LEGA	COMPOSIZIONE %	S	ρ $\mu\Omega\text{cm}$	β $\mu\Omega/\Omega \text{ } ^\circ\text{C}$	Note
Costantana Advance	Ni45 - Cu55	2,1	49	± 20	Di uso generale
Karma	Ni74-Cr20-Fe3-Al3	2,1	130	± 20	Per trasduttori e per misure di lunga durata
Platino- Tungsteno	Pt92 - W8	4,5	12	250	Per alte temperature

La Costantana è attualmente la lega più usata in quanto possiede i requisiti suddetti nella migliore combinazione. In aggiunta tale lega ha una discreta resistenza a fatica ed è utilizzabile nel campo di temperatura tra -70 e $+200$ $^\circ\text{C}$. La Costantana si presta bene alla realizzazione di estensimetri autocompensati (vedi cap. 3.4) per una vasta gamma di materiali strutturali.

La deformazione massima misurabile è dell'ordine di 5 *cm/m* (equivalente a 5% o 50.000 $\mu\text{m/m}$).

Anche le leghe Nickel-Cromo trovano ampio impiego. Ad esempio la lega *Karma* ha resistenza a fatica e stabilità migliori rispetto alla Costantana. Anche il campo di temperatura è più ampio (-250 ÷ 300 °C). La lega Karma come la Costantana si presta alla realizzazione di ER autocompensati. Il costo più elevato ne consiglia l'impiego, oltre che nella costruzione dei trasduttori, per quelle applicazioni nelle quali sono richieste misure accurate in prove di lunga durata e/o in condizioni ambientali difficili. Le leghe Platino-Tungsteno si impiegano negli estensimetri per elevate temperature. Tali leghe hanno un campo di impiego compreso tra -200 e +650 °C e non si prestano alla costruzione di ER autocompensati. La sensibilità alla deformazione è elevata con ridotto campo di linearità.

La geometria della griglia

Negli estensimetri a filo, attualmente poco usati, la griglia è costituita da un sottile filo il cui diametro è dell'ordine di 15 μm . La base di misura minima di un ER a filo è di circa 3 mm. Gli estensimetri a filo sono stati in larga misura sostituiti da quelli a lamina (figura 4) nei quali la griglia è costituita da una lamina, di spessore compreso tra 3 e 5 μm , che viene sagomata mediante un procedimento di fotoincisione o di trancitura. Gli estensimetri a lamina presentano rispetto a quelli a filo diversi vantaggi tra i quali:

- la sensibilità trasversale più bassa;
- la possibilità di ottenere basi di misura molto piccole (< 1 mm);
- la possibilità di sagomare opportunamente la griglia.

2.2. Il supporto dell'estensimetro

Il supporto è quel componente dell'estensimetro su cui è applicata la griglia. Il supporto ha tre funzioni: 1) trasmettere la deformazione della struttura alla griglia; 2) isolare elettricamente la griglia; 3) proteggere la griglia. La scelta del supporto dipende dalle condizioni ambientali di prova. La tabella 2 mostra alcuni tipi di supporto con il relativo campo di temperatura di impiego. Per ER d'impiego generale si usano supporti in resina poliammidica che è stabile, resistente e molto flessibile. Essa inoltre, rinforzata con fibre di vetro, può sopportare temperature dell'ordine di 330 °C. Per la costruzione di trasduttori o per prove in condizioni ambientali avverse e/o di lunga durata in cui è richiesta una maggiore stabilità si impiegano supporti di resina epossidica, fenolica, epossifenolica rinforzati con fibra di vetro. In generale tali supporti sono più stabili di quelli in resina poliammidica ma sono anche più fragili e meno flessibili. Per temperature di prova superiori ai 300-330 °C si usano gli

estensimetri a griglia libera (senza supporto) che vengono collegati alla struttura mediante un cemento ceramico che funge contemporaneamente da supporto e da adesivo. Per prove in ambiente ostile si possono utilizzare estensimetri con supporto secondario in acciaio che viene saldato per punti alla struttura.

Tabella 2. Supporti degli estensimetri e limiti indicativi del campo di temperature ammissibili per prove statiche

SUPPORTO	ΔT (°C)	NOTE
Resina poliammidica	- 200 ÷ 200	Di uso generale
Resina epossidica + fibra di vetro	-270 ÷ 230	
Resina fenolica + fibra di vetro	- 200 ÷ 300	Per trasduttori e per prove di lunga durata
Resina poliammidica + fibra di vetro	- 200 ÷ 330	
Cemento ceramico	- 200 ÷ 750	Per alte temperature
Piastrina di acciaio	(1)	(1) dipende dal supporto primario

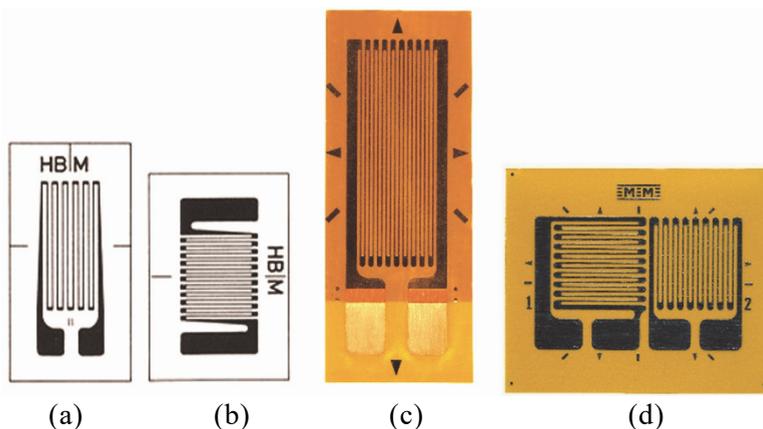


Figura 4. Vari tipi di ER a lamina fotoincisa: [(a), (b) riproduzione per gentile concessione di HBM Italia; (c), (d) riproduzione per gentile concessione di Vishay Intertechnology].

2.3. L'adesivo

L'adesivo è il materiale usato per applicare l'estensimetro alla struttura. Esso trasferisce la deformazione della struttura al supporto dell'estensimetro. Il successo di una prova estensimetrica dipende in larga misura dalla scelta e

dall'applicazione corretta [7, 9] dell'ER. Da ciò deriva la necessità della qualificazione degli operatori ER [8, 14]. La tabella 3 indica alcuni adesivi con il relativo campo di temperatura di impiego. Nel seguito si descrivono brevemente le caratteristiche dei vari adesivi di tabella 3. Per ulteriori notizie circa la scelta e le modalità di applicazione si rimanda alla letteratura specializzata ed in particolare ai bollettini tecnici delle Case produttrici di ER.

Il cianomonoacrilato è un adesivo monocomponente, senza solvente, di largo impiego per prove di routine a temperatura ambiente. Tale adesivo ha la caratteristica di polimerizzare rapidamente sotto leggera pressione in presenza dell'umidità atmosferica che funge da catalizzatore.

Gli adesivi a base epossidica sono attualmente molto diffusi in diverse formulazioni che prevedono sia il trattamento termico a freddo che quello a caldo.

Tabella 3. Tipi di adesivo e campo indicativo di temperature d'impiego.

TIPO	TRATTAMENTO	BASE	ΔT (°C)
Organico	a freddo	cianomonoacrilato	- 200 ÷ +100
		epossidica	- 200 ÷ + 100
	a caldo	epossidica	- 270 ÷ +250
		epossifenolica	- 270 ÷ +300
Inorganico	speciale	ceramica	-200 ÷ +750

Tabella 4. Protettivi per ER e campo indicativo di temperature d'impiego.

PROTETTIVO	ΔT (°C)	PROTEZIONE DA
Vernice uretanica	-50+120	umidità, olio, solventi
Resina siliconica	-50+250	umidità, olio, solventi
Resina nitrilica	-250+150	umidità, olio, solventi
Mastice	-50+150	azioni meccaniche, umidità, acqua anche in pressione
Gomma siliconica	-70+250	azioni meccaniche, umidità, acqua

Oltre i 350 °C gli adesivi organici non sono più adatti e bisogna ricorrere a quelli inorganici a base ceramica che sono disponibili in diversi tipi per temperature d'impiego fino a circa 750 °C. L'adesivo ceramico si usa per installare gli ER a griglia libera (con supporto provvisorio).

2.4. *Il protettivo*

Il protettivo ha lo scopo di proteggere l'installazione estensimetrica dagli agenti esterni quali umidità, liquidi, azioni meccaniche, etc. L'umidità in particolare ha un effetto negativo sia sulla resistenza elettrica di isolamento (v. cap. 3.5) sia sulle caratteristiche elastiche e di resistenza dell'adesivo. La tabella 1.4 indica alcuni protettivi. Il tipo di protettivo da impiegare dipende dalle condizioni di prova (durata della prova) e dalle condizioni ambientali (umidità, temperatura, etc.). Ad esempio per prove di laboratorio di breve durata in condizioni ambientali normali basta un sottile strato di resina poliuretana.

3. Le caratteristiche dell'estensimetro

Il comportamento di un estensimetro dipende da un insieme di grandezze caratteristiche che sono riportate nella tabella 5. Le prime cinque caratteristiche sono sempre riportate sulla confezione degli ER. La norma OIML [6] prescrive che la tolleranza di tali caratteristiche deve essere espressa ad un livello di confidenza del 95%; la tolleranza indicata dal produttore non deve essere cioè inferiore a due volte lo scarto tipo.

Tabella 5. Caratteristiche degli estensimetri.

N°	Caratteristica	N°	Caratteristica
1	resistenza elettrica	8	tensione di alimentazione e deriva
2	fattore di taratura	9	rigidezza ed effetto rinforzante
3	sensibilità trasversale	10	isteresi meccanica
4	sensibilità alla temperatura	11	deformazione limite
5	coefficiente di temperatura del fattore di taratura	12	scorrimento
6	resistenza di isolamento	13	resistenza a fatica
7	base di misura	14	isteresi termica

Nel seguito si considerano le prime otto caratteristiche di tabella 5. Per ciò che riguarda invece la determinazione ed il controllo delle caratteristiche si rimanda alla normativa [6, 9].

3.1. La resistenza elettrica

La resistenza elettrica R_e (Ω) dell'ER è la resistenza misurata ai terminali della griglia a temperatura ambiente e con l'estensimetro non installato e non deformato.

Di solito si indica invece con il simbolo R_o la resistenza dell'estensimetro installato ma non deformato. I valori nominali più comuni di R_e sono 120, 350, 700 Ω . Per l'analisi sperimentale delle tensioni su materiali buoni conduttori del calore (metalli) si usano di solito estensimetri da 120 Ω . L'uso di ER con resistenza più elevata è riservato a quei casi nei quali è necessario ridurre:

- 1) la generazione di calore per effetto Joule, cioè per prove su materiali cattivi conduttori del calore (v. cap. 3.7) quali le plastiche;
- 2) l'influenza della resistenza dei cavi sulla misura, caso tipico è per esempio quello dei trasduttori per i quali si impiegano ER da 350 Ω in su.

3.2. Fattori di taratura e sensibilità trasversale

La sensibilità alla deformazione dell'estensimetro non coincide in generale con quella del filo data dalla (3). La variazione di resistenza elettrica dell'estensimetro è dovuta infatti: a) principalmente alla deformazione dei tratti longitudinali che sono sensibili alla deformazione longitudinale ε_l , e b) in minor misura alla deformazione dei tratti trasversali che sono sensibili alla deformazione trasversale ε_t , cioè:

$$\frac{\Delta R}{R_o} = K_l \varepsilon_l + K_t \varepsilon_t \quad (7)$$

dove K_l e K_t indicano rispettivamente il *fattore di taratura longitudinale* ed il *fattore di taratura trasversale* dell'ER. Dalla relazione precedente si ricava:

$$K_l = \left. \frac{(\Delta R/R_o)_l}{\varepsilon_l} \right|_{\varepsilon_t = 0} \quad (8)$$

Il fattore di taratura longitudinale K_l è cioè il rapporto tra la variazione relativa di resistenza elettrica dell'estensimetro e la deformazione longitudinale applicata quando quest'ultima sia monoassiale, cioè quando $\varepsilon_t = 0$ (Fig. 5-b). Il fattore di taratura trasversale K_t è analogamente il rapporto tra la variazione relativa di resistenza elettrica dell'estensimetro e la deformazione trasversale applicata quando quest'ultima sia monoassiale, cioè quando $\varepsilon_l = 0$ (Fig. 5-c).

I Produttori di ER forniscono, al posto delle suddette caratteristiche, il *fattore di taratura* K e la *sensibilità trasversale* S_t . Il fattore di taratura K esprime la sensibilità dell'ER alla tensione monoassiale, cioè

$$K = \frac{\Delta R/R_o}{\varepsilon} \Big|_{\varepsilon_t = -\nu_o \varepsilon} \quad (10)$$

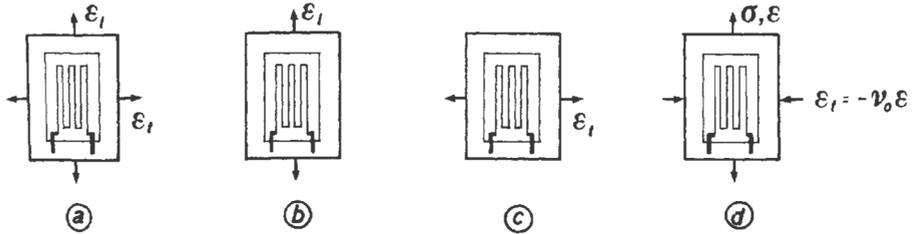


Figura 5. Campo di deformazione agente sull'estensimetro nel caso generale (a) e nei casi relativi alle definizioni del fattore di taratura longitudinale (b), del fattore di taratura trasversale (c), del fattore di taratura propriamente detto (d).

Il *fattore di taratura* K dell'ER è cioè il rapporto tra la variazione relativa di resistenza elettrica dell'ER e la deformazione longitudinale della superficie del provino su cui è installato l'estensimetro allorché la superficie stessa del provino è soggetta a tensione longitudinale monoassiale (Figura 5d).

Il provino sul quale viene installato l'estensimetro deve avere un coefficiente di Poisson $\nu_o = 0,28 \pm 0,01$ e quindi il campo di deformazione è biassiale con $\varepsilon_t = -\nu_o \varepsilon$. Di solito si usa un provino di acciaio ($\nu_o = 0,28 \div 0,29$).

La cosiddetta *sensibilità trasversale* dell'ER è data dal rapporto tra il fattore di taratura trasversale K_t ed il fattore di taratura longitudinale K_l , cioè:

$$S_t = \frac{K_t}{K_l} \quad (11)$$

Si può dimostrare che sussiste la seguente relazione tra fattori di taratura e sensibilità trasversale:

$$K = K_l(1 - \nu_o S_t) \quad (12)$$

Un ER ideale deve essere insensibile alla deformazione trasversale, deve cioè avere $K_t = S_t = 0$; in tali condizioni $K = K_l$. In pratica il fattore di taratura trasversale K_t , pur essendo piccolo rispetto a quello longitudinale K_l , è diverso