

ING. FRANCO LUCHSINGER SNC CURNO (BG)	<b>NOTA TECNICA</b> <b>La selezione dell'estensimetro</b>	Codice NOTE-04 Rev. 0 del 19.02.99 Pag. 1 di 13
---	--	--

**La selezione dell'estensimetro**  
**Criteria, procedure, consigli**

<b>ING. FRANCO LUCHSINGER SNC CURNO (BG)</b>	<b>NOTA TECNICA</b> <b>La selezione dell'estensimetro</b>	Codice NOTE-04 Rev. 0 del 19.02.99 Pag. 2 di 13
--	--	--

## **INDICE**

- 1.0 Introduzione**
- 2.0 La selezione dei parametri**
  - 2.1 Leghe sensibili alla deformazione**
    - 2.2.1 Lega constantana**
    - 2.1.2 Lega isoelastica**
    - 2.1.3 Lega Karma**
  - 2.2 Materiali di supporto**
  - 2.3 Le serie di estensimetri**
  - 2.4 Lunghezza dell'estensimetro**
  - 2.5 Configurazione dell'estensimetro**
  - 2.6 Opzioni dell'estensimetro**
- 3.0 Procedura di selezione**

<b>ING. FRANCO LUCHSINGER SNC CURNO (BG)</b>	<b>NOTA TECNICA</b> <b>La selezione dell'estensimetro</b>	Codice NOTE-04 Rev. 0 del 19.02.99 Pag. 3 di 13
--	--	--

## 1.0 Introduzione

Il primo passo di un'installazione estensimetrica è la scelta dell'estensimetro idoneo all'applicazione. Potrebbe sembrare, a prima vista, un esercizio semplice e di poca importanza; in realtà è vero esattamente il contrario. Una scelta razionale delle caratteristiche e dei parametri dell'estensimetro è molto importante per ottimizzare le prestazioni in specifiche condizioni ambientali e operative, per ottenere misure precise e affidabili, contribuire alla facilità d'installazione e minimizzare il costo totale dell'installazione.

L'installazione e il funzionamento dell'estensimetro sono influenzati dai seguenti parametri, che possono essere selezionati secondo diversi gradi di libertà:

- lega metallica sensibile alla deformazione
- supporto
- lunghezza griglia
- configurazione griglia
- numero di auto-compensazione termica
- resistenza della griglia
- opzioni

In pratica, il processo di selezione dell'estensimetro consiste nella determinazione di una particolare combinazione di parametri che abbia la massima compatibilità con le condizioni ambientali e operative e che allo stesso tempo soddisfi le esigenze di installazione e funzionamento.

Queste esigenze sono:

- precisione
- stabilità
- temperatura
- allungamento
- durata della prova
- resistenza ciclica
- facilità d'installazione
- ambiente

In genere il costo dell'estensimetro non incide in modo significativo sul costo totale della prova; anzi, in certi casi, la scelta di un estensimetro di un tipo particolare o con una specifica opzione, di costo più elevato, consente una riduzione del costo totale dell'installazione.

E' importante riconoscere che il processo di selezione dell'estensimetro implica dei compromessi, in quanto la scelta di certi parametri soddisfa una delle esigenze e non le altre. Per esempio, in presenza di un angolo con raggio di curvatura piccolo, dove lo spazio è ridotto e il gradiente di deformazione elevato, la scelta di un estensimetro piccolo sembrerebbe la decisione più logica. Tuttavia gli estensimetri più corti di 3 mm hanno un allungamento massimo ridotto, durata di vita limitata, un comportamento meno stabile e sono più difficili da installare. Un'altra situazione che spesso influenza la scelta dell'estensimetro è la disponibilità immediata a magazzino.

I compromessi sono per lo più una necessità; l'utilizzatore deve essere conscio degli effetti di tali compromessi sulla precisione e validità dei risultati.

I criteri di selezione considerati in questa nota tecnica si riferiscono alle applicazioni per analisi sperimentale delle sollecitazioni. I criteri di selezione per l'uso sui trasduttori possono differire significativamente. Vi preghiamo di consultarci per assistervi.

<b>ING. FRANCO LUCHSINGER SNC CURNO (BG)</b>	<b>NOTA TECNICA</b> <b>La selezione dell'estensimetro</b>	Codice NOTE-04 Rev. 0 del 19.02.99 Pag. 4 di 13
--	--	--

## 2.0 La selezione dei parametri

### 2.1 Leghe sensibili alle deformazioni

Il principale fattore che determina le caratteristiche di funzionamento dell'estensimetro è la lega usata per la griglia. La lega non è sempre un parametro liberamente selezionabile; l'estensimetro è fornito come sistema completo che combina una particolare lega con un supporto e include altre caratteristiche, come i cavi integrali, l'incapsulamento o le piazzole per la saldatura.

Le leghe disponibili da Measurements Group sono:

- A: costantana auto-compensata in temperatura
- P: costantana ricotta
- D: isoelastica
- K: Karma (Ni-Cr)

#### 2.1.1 Lega costantana

Tra tutte le leghe metalliche usate per estensimetria, la costantana è la più anziana, ma tuttora ancora la più usata. La costantana possiede la miglior combinazione di proprietà necessarie alle applicazioni estensimetriche. Questa lega ha una buona sensibilità alla deformazione (fattore di taratura), che è insensibile al livello di deformazione e alla temperatura. La sua resistività è sufficiente per ottenere valori di resistenza alti anche in griglie molto piccole ed inoltre il suo coefficiente di temperatura della resistenza non è eccessivo. Infine la costantana ha una buona vita a fatica e una buona capacità di allungamento. E' necessario tuttavia menzionare che la costantana tende a evidenziare una deriva continua a temperature superiori a 65°C; questo comportamento deve essere considerato quando la stabilità dello zero è critica su periodi di tempo di ore o giorni. La costantana può essere trattata per l'auto-compensazione termica per compensare una vasta gamma di coefficienti di espansione dei materiali. La lega è fornita con numeri di auto-compensazione termica (numeri S-T-C) 00, 03,05, 06, 09, 13, 15, 18, 30, 40 e 50 per l'uso su materiali con corrispondente coefficiente di espansione termica (espresso in ppm/°F).

Per ulteriori informazioni sugli effetti della temperatura consultare la nota tecnica TN-504.

Per la misura di grandi deformazioni, 5% o più (50.000 µε), la costantana trattata (lega P) è la lega utilizzata normalmente. La costantana in questa forma è molto duttile e in lunghezze di griglia di 3 mm o più può essere allungata del 20% o più. E' importante rilevare però che in caso di cicli di grandi deformazioni, essa evidenzia una variazione permanente della resistenza ad ogni ciclo, causando quindi una corrispondente deriva dello zero. A causa di questo comportamento e della tendenza ad una rottura prematura della griglia con deformazioni ripetute, la lega P è sconsigliata per applicazioni con deformazioni cicliche. La lega P è disponibile con numeri S-T-C di 08 e 40 per uso su metallo o plastica.

#### 2.1.2 Lega isoelastica

Nel caso si debbano effettuare misure puramente dinamiche e che non sia necessario mantenere un riferimento di zero stabile, la lega isoelastica (lega D) offre certi vantaggi. Tra questi segnaliamo una vita a fatica superiore alla lega A e un fattore di taratura superiore pari a 3,2 circa che migliora il rapporto segnale-a-rumore nelle prove dinamiche.

La lega D non offre l'autocompensazione termica. Inoltre l'uscita termica è molto alta e non utilizzabile per misure statiche. Infine la lega D è magnetoresistiva e la sua risposta alla deformazione non è lineare, in maniera significativa a deformazioni superiori a 5.000 µε.

ING. FRANCO LUCHSINGER SNC CURNO (BG)	<b>NOTA TECNICA</b> <b>La selezione dell'estensimetro</b>	Codice NOTE-04 Rev. 0 del 19.02.99 Pag. 5 di 13
---	--	--

### 2.1.3 Lega Karma

Il Karma modificato (lega K) rappresenta un membro importante della famiglia di leghe per estensimetri. Questa lega ha una buona vita a fatica e un'eccellente stabilità; una scelta ottimale per misure precise di deformazioni statiche su lunghi periodi di tempo (mesi o anni) a temperatura ambiente o su periodi corti a temperature elevate. Essa è consigliata per misure statiche in una gamma di temperature da  $-269^{\circ}\text{C}$  a  $+260^{\circ}\text{C}$ . Per brevi periodi un estensimetro con Karma incapsulato può essere esposto a temperature di  $400^{\circ}\text{C}$ . Un'atmosfera inerte migliora la stabilità ed estende la durata di vita ad elevate temperature.

La lega K offre una curva termica molto più piatta della lega A e quindi consente una correzione più precisa per gli errori di uscita termica. La lega K offre l'autocompensazione termica per l'uso su materiali con diversi coefficienti di espansione termica. I numeri S-T-C disponibili sono 00, 03, 05, 06, 09, 13 e 15. La lega K è la scelta ottimale quando si esige un estensimetro compensato in temperatura con prestazioni ambientali non ottenibili dalla lega A.

A causa della difficoltà di saldare direttamente sulla lega K, il terminale in rame è una caratteristica standard di tutti gli estensimetri con lega K. Il terminale in rame può essere una piazzola (DP) o un punto (DD) se lo spazio è limitato. Gli estensimetri in lega K possono essere forniti con filo presaldato.

### 2.2 Materiali di supporto

La fabbricazione convenzionale di estensimetri consiste di un foglio metallico fotoinciso su un supporto plastico. Il supporto ha delle funzioni importanti:

- consente la manipolazione durante l'installazione
- fornisce una superficie incollabile per aderire l'estensimetro al materiale
- fornisce isolamento elettrico tra il foglio metallico e l'oggetto in prova

I materiali di supporto forniti da Measurements Group sono di 2 tipi:

- polimide
- resina epossidica-fenolica rinforzata con fibra di vetro

Il supporto polimide (E) è molto resistente e flessibile; si adatta facilmente anche a superfici con raggio di curvatura piccolo. Inoltre la resistenza elevata allo strappo del foglio metallico dal supporto, rende l'estensimetro meno sensibile ai danni meccanici durante l'installazione. Grazie alla facilità d'uso e alla gamma di temperatura da  $-195$  a  $+175^{\circ}\text{C}$ , il supporto polimide è ideale per misure generiche statiche e dinamiche. Questo supporto è capace di grandi allungamenti e può essere usato su plastiche fino a deformazioni del 20%. Il supporto polimide è usato nelle serie EA, CEA, EP, EK, S2K, N2A e ED.

Per le migliori prestazioni sulla più vasta gamma di temperature, il supporto in resina epossidica-fenolica rinforzata con fibra di vetro è la scelta ottimale. Questo supporto è usato per misure statiche e dinamiche da  $-269^{\circ}\text{C}$  a  $290^{\circ}\text{C}$ . In applicazioni di breve durata, il limite superiore di temperatura può essere esteso a  $400^{\circ}\text{C}$ . Il massimo allungamento è però limitato a 1-2%. Questo supporto è usato nelle serie WA, WK, SA, SK, WD e SD.

### 2.3 Le serie di estensimetri

Le leghe e i supporti non possono essere scelti liberamente; la selezione deve essere effettuata tra i diversi sistemi lega-supporto disponibili, anche dette serie, che includono una combinazione specifica di lega e supporto. Per facilitare la scelta della serie, i dati sono presentati in forma condensata in una tabella; questa tabella fornisce varie prestazioni quali temperature di funzionamento, campo di deformazione, vita a fatica in funzione al livello di deformazione. Questi dati sono *nominali* e applicabili unicamente a estensimetri con lunghezza di almeno 3 mm.

ING. FRANCO LUCHSINGER SNC CURNO (BG)	<b>NOTA TECNICA</b> <b>La selezione dell'estensimetro</b>	Codice NOTE-04 Rev. 0 del 19.02.99 Pag. 6 di 13
---	--	--

TABELLA 1

Serie	Descrizione	Campo di Temperatura	Campo di deformazione	Vita a fatica	
				Livello deformazione $\mu\epsilon$	Numero di cicli
EA	Lega costantana con supporto polimide. Misure generiche statiche e dinamiche.	Normale: -75 a 175°C Breve: -195 a 205°C	+/-3% (lunghezza <3,2 mm) +/-5% (lunghezza >3,2 mm)	+/- 1.800 +/- 1.500 +/- 1.200	10 <sup>5</sup> 10 <sup>6</sup> 10 <sup>8</sup>
CEA	Estensimetro ad uso universale. Lega costantana completamente incapsulata in polimide con piazzole grandi in rame. Misure generiche statiche e dinamiche.	Normale: -75 a 175°C Rosette sovrapposte: massimo 65°C	+/-3% (lunghezza <3,2 mm) +/-5% (lunghezza >3,2 mm)	+/- 1.500 +/- 1.500	10 <sup>5</sup> 10 <sup>6</sup>
N2A	Lega costantana con supporto ultrafine, laminato in polimide. Raccomandato per uso in trasduttori a causa del basso e ripetibile scorrimento.	Normale: -75 a 95°C	+/- 3%	+/- 1.700 +/- 1.500	10 <sup>5</sup> 10 <sup>7</sup>
WA	Lega costantana incapsulata con fili ad alta resistenza. Utilizzabile su un campo di temperatura più grande e in un ambiente più estremo che la serie EA	Normale: -75 a 205°C Breve: -195 a 260°C	+/- 2%	+/- 2.000 +/- 1.800 +/- 1.500	10 <sup>5</sup> 10 <sup>6</sup> 10 <sup>7</sup>
SA	Lega costantana incapsulata con piazzole per saldatura. Similare a WA ma limitato nella massima temperatura e ambiente d'uso a causa delle piazzole.	Normale: -75 a 205°C Breve: -195 a 230°C	+/-2%	+/- 1.800 +/- 1.500	10 <sup>5</sup> 10 <sup>7</sup>
EP	Lega costantana trattata con supporto polimide ad alto allungamento. Usato per grandi deformazioni.	-75 a 205°C	+/-10% (lunghezza <3,2mm) +/-20% (lunghezza >3,2mm)	+/-1.000	10 <sup>4</sup> (deriva dello zero)
ED	Lega isoelastica con supporto polimide. Elevato fattore di taratura ed estesa vita a fatica. Eccellente per misure dinamiche. Non usato per misure statiche a causa della sensibilità termica.	Dinamico: -195 a 205°C	+/-2% Non lineare a deformazioni >0,5%	+/- 2.500 +/- 2.200	10 <sup>5</sup> 10 <sup>7</sup>
WD	Lega isoelastica incapsulata con fili ad alta resistenza. Usato per misure dinamiche in ambienti ostili.	Dinamico: -195 a 260°C	+/-1,5% Non lineare a deformazioni >0,5%	+/- 3.000 +/- 2.500 +/- 2.200	10 <sup>5</sup> 10 <sup>7</sup> 10 <sup>8</sup>
SD	Simile a WD, ma con piazzole di saldatura al posto dei fili.	Dinamico: -195 a 205°C	+/-1,5% Non lineare a deformazioni >0,5%	+/- 2.500 +/- 2.200	10 <sup>5</sup> 10 <sup>7</sup>
EK	Lega Karma con supporto in polimide. Usato quando si richiede una elevata resistenza elettrica, stabilità a temperature elevate e flessibilità del supporto.	Normale: -195 a 175°C Breve: -269 a 205°C	+/-1,5%	+/- 1.800	10 <sup>7</sup>
WK	Lega Karma incapsulata con fili ad alta resistenza. Questa serie ha il più ampio campo di temperatura e la più grande resistenza ambientale.	Normale: -269 a 290°C Breve: -269 a 400°C	+/-1,5%	+/- 2.200 +/- 2.000	10 <sup>5</sup> 10 <sup>7</sup>
SK	Lega Karma incapsulata con piazzole di saldatura. Simile a WK ma inferiore per la massima temperatura e la resistenza ambientale.	Normale: -269 a 230°C Breve: -269 a 260°C	+/-1,5%	+/- 2.200 +/- 2.000	10 <sup>5</sup> 10 <sup>7</sup>
S2K	Lega Karma laminata a 0,025 mm, supporto polimide, incapsulato e con piazzole per saldatura.	Normale: -75 a 120°C Breve: -185 a 150°C	+/-1,5%	+/- 1.800 +/- 1.500	10 <sup>5</sup> 10 <sup>7</sup>

<b>ING. FRANCO LUCHSINGER SNC CURNO (BG)</b>	<b>NOTA TECNICA</b> <b>La selezione dell'estensimetro</b>	Codice NOTE-04 Rev. 0 del 19.02.99 Pag. 7 di 13
--	--	--

TABELLA 2

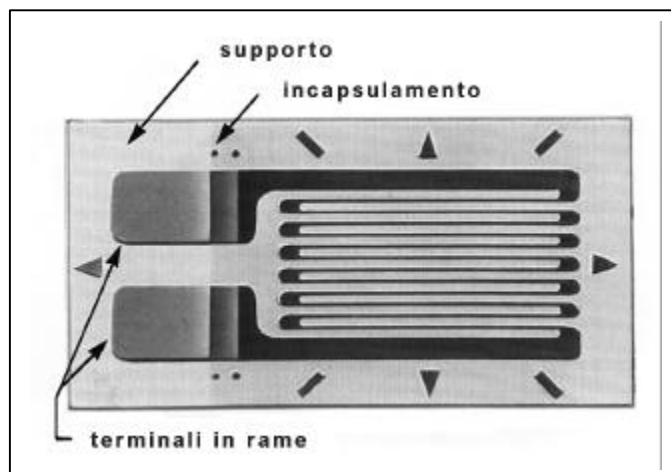
Applicazione	Temperatura	Durata	Precisione **	Resistenza ciclica		Selezione consigliata	
				Mass. def. $\mu\epsilon$	Num. cicli	Serie	Adesivo
Analisi generica statica o statico-dinamica *	-45 a 65°C	<10 <sup>4</sup>	Moderata	+/-1.300	<10 <sup>5</sup>	CEA, EA	200, AE-10
		>10 <sup>4</sup>	Moderata	+/-1.300	<10 <sup>5</sup>	CEA, EA	AE10, AE15
		>10 <sup>4</sup>	Molto elevata	+/-1.600	>10 <sup>5</sup>	WA, SA	AE15, 610
		>10 <sup>4</sup>	Elevata	+/-2.000	>10 <sup>5</sup>	WK, SK	AE15, 610
	-45 a 205°C	<10 <sup>3</sup>	Moderata	+/-1.600	<10 <sup>5</sup>	WA, SA	600, 610
		>10 <sup>3</sup>	Elevata	+/-2.000	<10 <sup>5</sup>	WK, SK	600, 610
	-269 a 230°C	>10 <sup>3</sup>	Moderata	+/-2.000	>10 <sup>5</sup>	WK, SK	610
< 315°C	<10 <sup>2</sup>	Moderata	+/-1.800	<10 <sup>5</sup>	WK	610	
< 370°C	<10	Moderata	+/-1.500	<10 <sup>5</sup>	WK	610	
Grandi allungamenti	-45 a 65°C	<10	Moderata	+/-50.000	1	CEA, EA	AE10
		>10 <sup>3</sup>	Moderata	+/-100.000	1	EP	AE15
		>10 <sup>3</sup>	Moderata	+/-200.000	1	EP	A12
	-20 a 260°C	<10 <sup>2</sup>	Moderata	+/-15.000	1	SA, SK, WA, WK	610
-269 a 260°C	<10 <sup>3</sup>	Moderata	+/-10.000	1	SK, WK	600, 610	
Dinamico (ciclico)	-75 a 65°C	<10 <sup>4</sup>	Moderata	+/-2.000	10 <sup>7</sup>	ED	200, AE10
		<10 <sup>4</sup>	Moderata	+/-2.400	10 <sup>7</sup>	WD	AE10, AE15
	-195 a 260°C	<10 <sup>4</sup>	Moderata	+/-2.000	10 <sup>7</sup>	WD	600, 610
		<10 <sup>4</sup>	Moderata	+/-2.300	<10 <sup>5</sup>	WD	600, 610
Trasduttori	-45 a 65°C	<10 <sup>4</sup>	1 a 5%	+/-1.300	<10 <sup>5</sup>	CEA, EA	AE10, AE15
		<10 <sup>6</sup>	1 a 5%	+/-1.300	<10 <sup>5</sup>	CEA	AE15
	-45 a 95°C	<10 <sup>4</sup>	< 0,2%	+/-1.500	10 <sup>6</sup>	N2A	600, 610, 43B
	-45 a 150°C	<10 <sup>4</sup>	0,2 a 0,5%	+/-1.600	10 <sup>6</sup>	WA, SA	610
-195 a 175°C	<10 <sup>4</sup>	< 0,5%	+/-1.800	10 <sup>6</sup>	WK, SK	610	

\* Questa categoria include la maggior parte delle applicazioni dove è richiesta una qualche stabilità in condizioni statiche di prova. Per una stabilità assoluta con estensimetri in lega costantana su periodi lunghi e a temperature superiori a 65°C, è necessario usare configurazioni a mezzo e a ponte intero. Il protettivo può in certi casi influenzare la stabilità.

\*\* E' inappropriato quantificare la "precisione" senza considerare i vari aspetti del programma di prova e la strumentazione usata. In generale, la precisione "moderata" si situa tra 2 e 5%, "elevata" tra 1 e 3% e "molto elevata" a <1%.

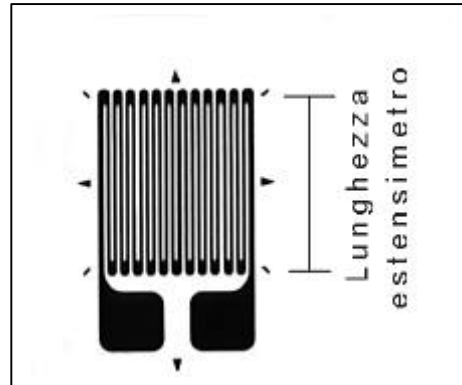
Questa tabella consiglia la serie da usare per un certo profilo di prova o per un certo numero di specifiche che sono il tipo di misura, la temperatura di funzionamento, la durata della prova, la precisione richiesta e la durata di vita ciclica. Inoltre fornisce consigli per la scelta dell'adesivo, che essendo parte del sistema di misura, influenza la precisione.

Come indicato nella tabella, la serie CEA è in generale la scelta preferita per misure abituali, che non richiedono prestazioni estreme di precisione e di resistenza ambientale. Gli estensimetri della serie CEA hanno una griglia in lega costantana con grandi piazzole ricoperte da rame per facilitare la saldatura dei cavi direttamente all'estensimetro. Questi estensimetri sottili e flessibili possono essere adattati a qualunque raggio di curvatura. La serie CEA è superlativa per le sue caratteristiche di facilità d'uso e resistenza alla manipolazione.



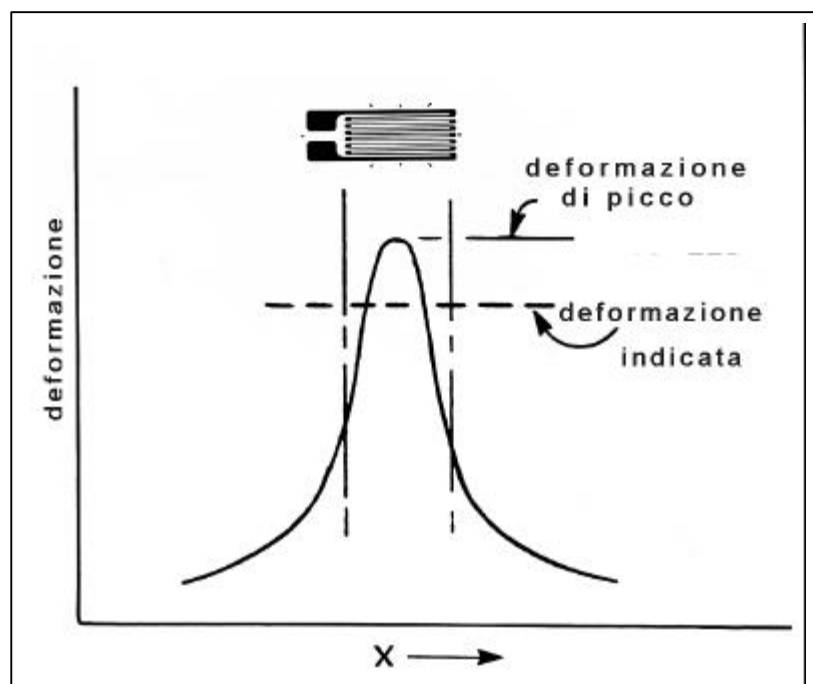
## 2.4 Lunghezza dell'estensimetro

La lunghezza di misura di un estensimetro è la lunghezza attiva o sensibile della griglia come mostrato nella figura.



Le sezioni curve e i terminali sono insensibili a causa della larghezza della sezione e della bassa resistenza elettrica. Per soddisfare le svariate esigenze di misura, Measurements Group offre lunghezze a partire da 0,2 mm fino a 100 mm.

La lunghezza di misura dell'estensimetro è spesso un fattore importante per la determinazione della prestazione dell'estensimetro. Per esempio, la misura di deformazione è normalmente effettuata nei punti critici di una macchina o di una struttura, cioè nei punti più sollecitati. Generalmente i punti più sollecitati sono associati a concentrazioni di sollecitazioni, dove il gradiente di deformazione è elevato e l'area di massima deformazione è delimitata in una regione molto piccola. L'estensimetro integra o media la deformazione sull'area coperta dalla griglia. Siccome la media di una distribuzione di deformazioni non uniforme è sempre inferiore al massimo, un estensimetro più grande dell'area di deformazione massima indicherà un valore di deformazione troppo basso. La figura seguente mostra una distribuzione di deformazioni nei pressi di una concentrazione di sollecitazioni e dimostra l'errore dovuto ad un estensimetro troppo lungo rispetto alla zona del picco.





<b>ING. FRANCO LUCHSINGER SNC CURNO (BG)</b>	<b>NOTA TECNICA</b> <b>La selezione dell'estensimetro</b>	Codice NOTE-04 Rev. 0 del 19.02.99 Pag. 9 di 13
--	--	--

Come regola pratica, se praticabile, la lunghezza di misura dell'estensimetro non dovrebbe essere superiore a 0,1 volte il raggio di curvatura di un foro o di un intaglio o della corrispondente dimensione di altri concentratori di sollecitazioni. Se la dimensione del raggio è tuttavia inferiore a 13 mm, questa regola conduce a estensimetri molto piccoli, che possono causare altri problemi; è dunque necessario arrivare ad un compromesso.

Estensimetri inferiori a 3 mm mostrano una degradazione delle prestazioni, quali ridotto massimo allungamento, ridotta stabilità sotto deformazione statica e ridotta resistenza a deformazioni cicliche. Se una di queste caratteristiche è più importante dell'imprecisione dovuta all'integrazione della deformazione, allora si deve usare un estensimetro più grande.

Gli estensimetri più grandi hanno altri vantaggi. Sono più facili da maneggiare in qualunque momento dell'installazione incluso il cablaggio. Inoltre la dissipazione termica è migliore e quindi sono indicati per l'installazione su materiali quali plastiche che hanno una bassa dissipazione.

Un'altra applicazione per gli estensimetri grandi è l'uso su materiali non omogenei quali il calcestruzzo o i materiali compositi. Quando si misurano deformazioni su calcestruzzo è preferibile usare estensimetri la cui lunghezza ecceda di più volte la dimensione dell'aggregato. In altre parole, in questo caso si ricerca la deformazione media e non la deformazione locale all'interfaccia cemento-aggregato.

Quale regola generale, prescindendo da quanto sopra esposto, la lunghezza di misura dell'estensimetro deve essere scelta tra 3 e 6 mm, in quanto la maggior scelta di configurazioni è disponibile in questa gamma di lunghezze. Inoltre estensimetri più grandi o più piccoli sono generalmente più costosi e hanno minore probabilità di essere pronti a magazzino.

## **2.5 Configurazione dell'estensimetro**

La configurazione dell'estensimetro si riferisce alla forma della griglia, al numero e direzione delle griglie in estensimetri multi-griglia, alla configurazione dei terminali e a varie caratteristiche costruttive.

Per gli estensimetri a singola griglia, la predisposizione per una particolare applicazione dipende da:

- piazzole a saldare – Devono essere compatibili in dimensione e orientamento con lo spazio disponibile al punto di installazione.
- larghezza della griglia – Se è presente un forte gradiente di deformazione perpendicolare all'asse dell'estensimetro, una griglia più stretta è preferibile. Una griglia più larga migliora la dissipazione termica e la stabilità.
- resistenza dell'estensimetro – In certi casi la sola differenza tra 2 configurazioni disponibili nella stessa serie è la resistenza elettrica, tipicamente 120 e 350 ohm. Se la scelta è possibile, la resistenza più alta è preferibile in quanto riduce la generazione di calore di un fattore 3. Una resistenza elettrica maggiore minimizza l'effetto dei cavi quali la riduzione di sensibilità indotta dalla resistenza dei cavi e le variazioni indesiderate causate dalla variazione della resistenza dei cavi alla fluttuazione della temperatura. L'uso di estensimetri ad alta resistenza elettrica è preferibile in presenza di interruttori, contatti striscianti o altre fonti di variazioni imprevedibili di resistenza. In analisi sperimentale delle sollecitazioni un estensimetro a singola griglia dovrebbe essere usato solo quando lo stato di sollecitazione è uniassiale e la direzione degli assi principali nota con ragionevole precisione (+/-5%).

Queste esigenze limitano le applicazioni di estensimetri a singola griglia per l'analisi sperimentale delle sollecitazioni. Non considerare la biassialità dello stato di sollecitazione, può condurre a grandi errori nella stima della grandezza della sollecitazione derivata da misure con un estensimetro a singola griglia.

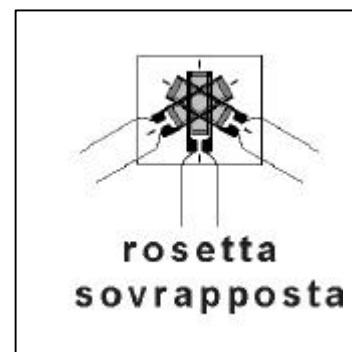
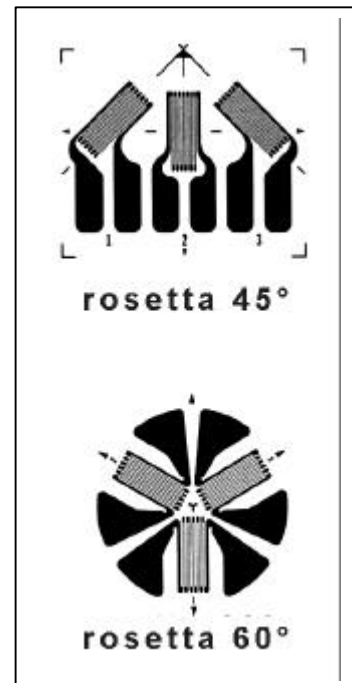
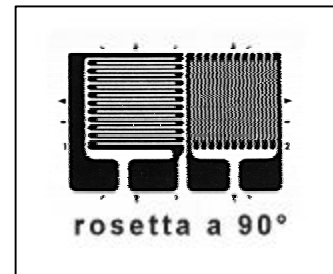
Per uno stato biassiale di sollecitazione, si richiede l'uso di una rosetta a 2 o 3 elementi per determinare le sollecitazioni principali. Se le direzioni principali sono note, si può usare una rosetta con 2 griglie a  $90^\circ$  con gli assi coincidenti con le direzioni principali.

Le direzioni degli assi principali possono essere dedotte da diverse considerazioni. Per esempio la forma dell'oggetto o il modo di carico possono essere tali che le direzioni principali sono ovvie a causa della simmetria, come in un serbatoio cilindrico. Gli assi principali possono anche essere determinati mediante una prova fotoelastica.

Nella maggior parte dei casi di sollecitazioni superficiali, quando le direzioni non sono note, si devono usare rosette a 3 griglie. La rosetta può essere installata in qualunque direzione, anche se normalmente si orienta una delle griglie con un asse significativo dell'oggetto in esame. La rosetta a 3 elementi è disponibile in configurazione rettangolare  $45^\circ$  o delta  $60^\circ$ . La scelta usuale è la configurazione rettangolare in quanto l'elaborazione dei dati è più semplice.

Se si usa una rosetta, è opportuno anche considerare le differenze tra la rosetta piana e la rosetta sovrapposta.

Per qualunque lunghezza dell'estensimetro, la rosetta piana è superiore per quanto riguarda il trasferimento di calore all'oggetto e quindi ha migliore stabilità e precisione per misure statiche. Inoltre, in presenza di forti gradienti perpendicolari alla superficie, come nella flessione, la rosetta piana è più precisa in quanto tutte le griglie sono più vicine alla superficie. Infine la rosetta piana è più flessibile e quindi più facilmente adattabile ad una curvatura. D'altra parte, in presenza di forti gradienti di deformazione nel piano della superficie, la rosetta piana produce forti errori perché le griglie misurano in punti diversi. In questi casi la rosetta sovrapposta è preferibile, come anche nei casi in cui lo spazio per l'installazione è limitato.



<b>ING. FRANCO LUCHSINGER SNC CURNO (BG)</b>	<b>NOTA TECNICA</b> <b>La selezione dell'estensimetro</b>	Codice NOTE-04 Rev. 0 del 19.02.99 Pag. 11 di 13
--	--	---

## 2.6 Opzioni dell'estensimetro

Measurements Group offre una scelta di opzioni, che aumentano il costo a fronte dei seguenti benefici:

- riduzione del tempo e dei costi di installazione
- riduzione del livello di abilità per realizzare installazioni affidabili
- migliore affidabilità delle applicazioni
- installazione semplificata in campo o in posti difficili
- migliore protezione
- prestazioni speciali

La disponibilità di ogni opzione varia con la serie e la configurazione dell'estensimetro. Le opzioni standard sono notate per ogni sensore sul catalogo 500.

TABELLA 3 - opzioni standard

Opzione	Descrizione breve
W	Incapsulato e basette integrate
E	Incapsulato con piazzole esposte
SE	Incapsulato con gocce di saldatura sulle piazzole
L	Fili saldati
LE	Incapsulato e fili saldati
P	Incapsulato e cavi installati
P2	Cavi installati (solo per serie CEA)

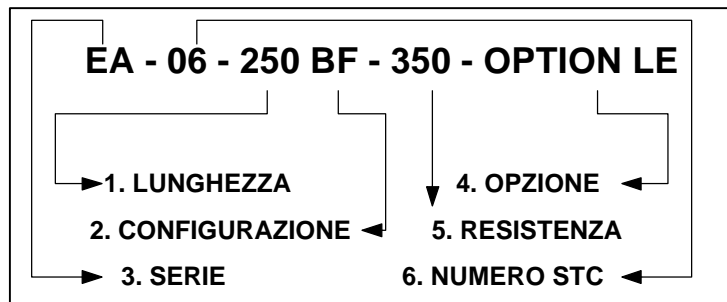
L'incapsulamento è in genere realizzato con un film sottile che protegge la griglia e lascia libere le piazzole per la saldatura. Questa opzione impedisce alla sporcizia di contaminare la griglia e protegge durante la saldatura.

L'opzione L e LE aggiunge ai terminali dell'estensimetro dei fili piatti e duttili in rame di una lunghezza di circa 20 mm. Questi fili devono essere saldati alle basette da cui partono i cavi che vanno alla strumentazione.

<b>ING. FRANCO LUCHSINGER SNC CURNO (BG)</b>	<b>NOTA TECNICA</b> <b>La selezione dell'estensimetro</b>	Codice NOTE-04 Rev. 0 del 19.02.99 Pag. 12 di 13
--	--	---

### 3.0 Procedura di selezione

Measurements Group offre una grande scelta in grado di soddisfare le più svariate esigenze di misura. Malgrado il vasto numero di variabili, il processo di selezione può essere ridotto a pochi passi. Il diagramma seguente spiega il codice di designazione dell'estensimetro.



I parametri da selezionare sono in sequenza::

1. la lunghezza
2. la configurazione
3. la serie
4. l'opzione
5. la resistenza
6. il numero S-T-C

#### Passo 1 – Lunghezza

La lunghezza è il primo parametro da scegliere in funzione allo spazio disponibile e alla natura della sollecitazione, cioè biassialità e gradiente. La lunghezza di 3 mm è un buon punto di partenza, in quanto questa dimensione offre la scelta più vasta come forma, serie e resistenza. L'estensimetro e le piazzole per saldare sono grandi a sufficienza per una installazione facile.

La ragione per scegliere una lunghezza maggiore potrebbe essere una delle seguenti:

- maggiore area della griglia per una migliore dissipazione termica
- migliore media della deformazione su materiali inomogenei
- più facilità dell'installazione

D'altro canto un estensimetro più corto è necessario per misurare il picco della deformazione nei pressi di una concentrazione di sollecitazioni, come per esempio un foro.

#### Passo 2 – Configurazione

La prima decisione riguarda la scelta tra l'uso di un estensimetro a singola griglia o di una rosetta. Estensimetri a singola griglia sono disponibili con diversi rapporti lunghezza-larghezza e diverse disposizioni delle piazzole di saldatura. Anche le rosette a 2 elementi offrono diverse configurazioni delle griglie e delle piazzole. Per le rosette a 3 elementi la scelta primaria, dopo aver determinato la lunghezza, è tra piana o sovrapposta. Il formato del Catalogo 500 è strutturato per semplificare la scelta della lunghezza e configurazione. Le configurazioni simili disponibili in ogni lunghezza sono raggruppate insieme ed elencate per ordine di dimensione.

#### Passo 3 – Serie

La scelta della serie è facilitata dalla consultazione della TABELLA 1 che consiglia la serie per un certo profilo di prova o per certe esigenze di prova. Se alla serie è necessario aggiungere una opzione, questa deve essere determinata ora, in quanto la sua disponibilità deve essere verificata nel passo successivo.

<b>ING. FRANCO LUCHSINGER SNC CURNO (BG)</b>	<b>NOTA TECNICA</b> <b>La selezione dell'estensimetro</b>	Codice NOTE-04 Rev. 0 del 19.02.99 Pag. 13 di 13
--	--	---

#### **Passo 4 – Opzione**

La scelta dell'opzione, se necessaria, comporta in genere un compromesso. Per esempio, un'opzione che migliora la vita a fatica dell'estensimetro, può richiedere però maggiore abilità dell'installatore. A causa delle molteplici interazioni tra attributi d'installazione e parametri di prestazioni associati con le opzioni, i relativi meriti di tutte le opzioni sono riassunte nella TABELLA 4. Per motivi di confronto, le caratteristiche della Serie CEA sono indicate nella colonna più a destra. Questa tabella fornisce informazioni in particolare per l'uso in analisi sperimentale delle sollecitazioni. Se si considera di utilizzare un estensimetro della serie EA con l'aggiunta di un'opzione, si consiglia fortemente di verificare l'esistenza di un estensimetro equivalente della serie CEA che soddisfi alle esigenze di misura. In genere la serie CEA ha un migliore rapporto prestazioni-prezzo. Infine è da segnalare che gli estensimetri senza opzioni sono normalmente disponibili da stock, mentre estensimetri con opzioni devono per lo più essere realizzati su ordine e quindi hanno consegne più lunghe e quantitativi minimi d'ordine.

La TABELLA 4 indica dei parametri di funzionamento; un numero superiore a 5 indica un miglioramento rispetto alla configurazione standard senza opzione, un numero inferiore a 5 un peggioramento.

TABELLA 4

Parametro di funzionamento	Opzioni standard					Serie CEA
	W	E	SE	L	LE	
Facilità d'installazione	8	7	6	5	6	10
Facilità di saldatura	10	8	7	7	8	10
Protezione griglia	8	8	8	5	8	8
Resistenza a cicli	2	7	8	3	4	4
Capacità di allungamento	2	3	3	4	3	3
Tolleranza della resistenza	3	3	3	5	3	3
Effetto di rinforzo	2	3	3	5	3	3

#### **Passo 5 – Resistenza**

Come già anticipato nel paragrafo 2.5, ci sono spesso vantaggi nel selezionare una resistenza di 350 ohm a patto che sia compatibile con la strumentazione usata. Questa scelta può essere influenzata dal costo, specialmente nel caso di estensimetri molto piccoli. Bisogna anche considerare che una resistenza più elevata comporta una riduzione della resistenza alla fatica.

#### **Passo 6 – Numero STC**

Infine per completare la designazione dell'estensimetro è necessario scegliere il numero STC in funzione al materiale come dalla tabella di pagina 4 nel Catalogo 500. Il numero STC è il coefficiente termico di espansione del materiale in PPM/°F del materiale su cui è incollato l'estensimetro. I numeri STC più utilizzati e con maggiore probabilità presenti a magazzino sono 06 per l'acciaio e 13 per l'alluminio. E' doveroso notare che se durante la prova la temperatura ambiente rimane costante, è possibile usare anche numeri STC non corrispondenti al materiale.