



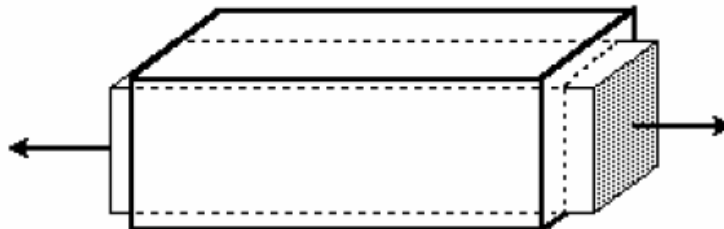
# Sensori Fisici

Alessandro Tognetti

## **Sensori di strain**

# Estensimetri – Strain gage

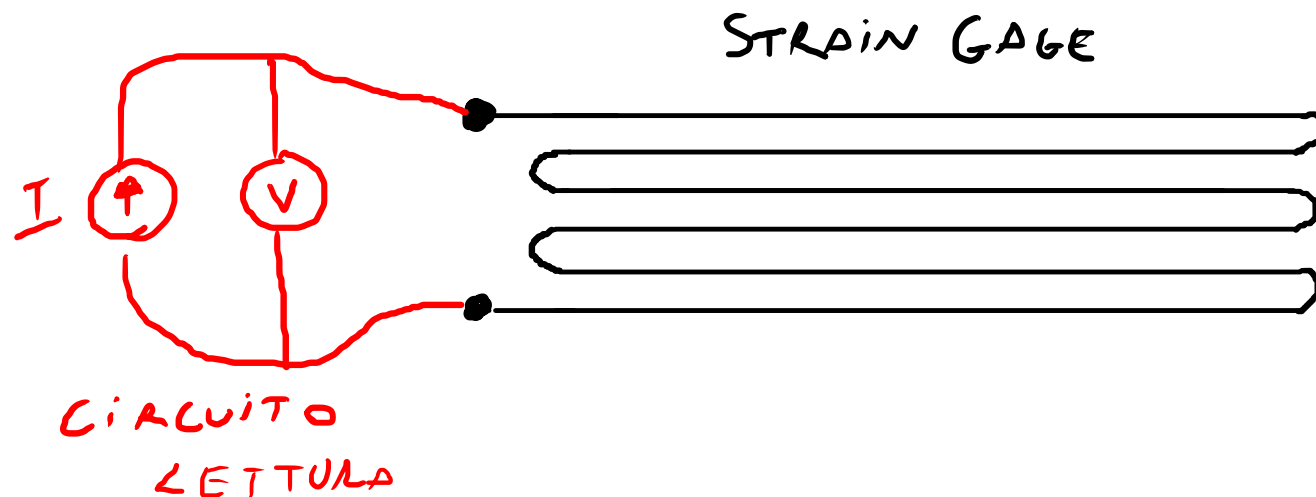
- L'estensimetro (Strain gage) è un sensore in cui la deformazione elastica subita da un elemento metallico oppure da un semiconduttore si riflette nella variazione della resistenza dell'elemento.
- Sono utilizzati per la misura di deformazione e conseguentemente di forza/pressione (conoscendo le proprietà elastiche del mezzo a cui vengono applicati)
- Le principali tipologie costruttive degli estensimetri son tre:
  - filo metallico teso
    - Un sottile filo metallico conduttore viene vincolato, in tensione, alla struttura di cui si desidera misurare la deformazione mediante dei supporti isolanti. Questi devono essere posti lungo l'asse in cui si intende rilevare la deformazione. La deformazione della struttura provoca una variazione della distanza fra i supporti e quindi una deformazione del filo metallico che subisce sia una variazione della lunghezza  $l$ , sia una variazione sia della sezione  $S$ .



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

# Estensimetri – Strain gage

- deposito metallico su film
  - Negli estensimetri a deposito metallico su film si usa come elemento deformabile un elemento simile ad un circuito stampato che vede una sottile pista conduttrice solidale ad un supporto isolante costituito da un film plastico di modesto spessore. La forma della pista conduttrice è tale da esaltare la dimensione totale lungo un asse e minimizzare quella lungo l'asse ortogonale. All'estremità della pista conduttrice sono poi ricavate delle piazzole per il collegamento dei reofori di alimentazione e misura. Spesso più estensimetri vengono disposti l'uno vicino all'altro, secondo assi concorrenti per ottenere una scomposizione vettoriale della deformazione.



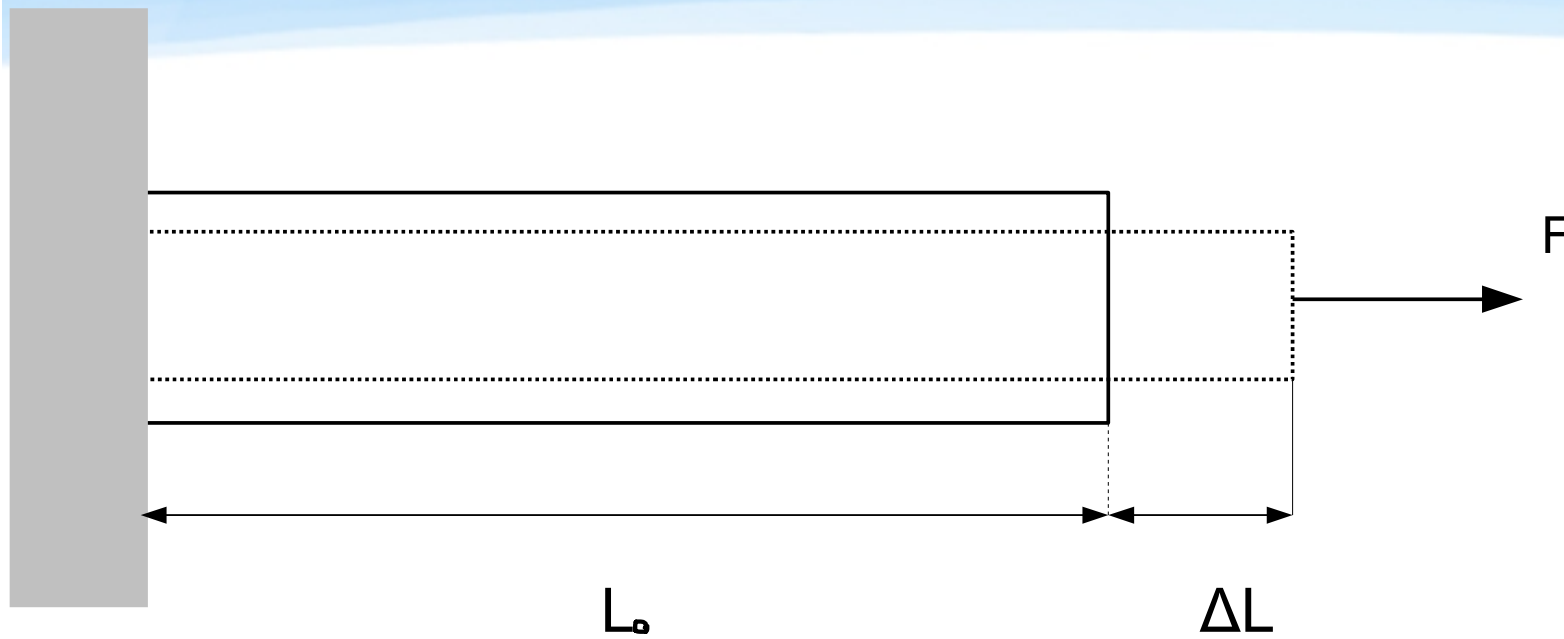
## Estensimetri – Strain gage

- La caratteristica di maggiore interesse nell'estensimetro è la sensibilità con cui la resistenza si modifica in conseguenza della deformazione: per giungere però un tale parametro si deve preventivamente definire come misurare la deformazione.
- Facendo riferimento ad una struttura cilindrica di altezza pari ad  $L_0$  in condizioni di riposo si consideri di applicare una sollecitazione assiale di trazione: il cilindro subirà una deformazione più o meno evidente a seconda dell'intensità della sollecitazione, delle caratteristiche del materiale e della geometria. L'altezza subirà un'allungamento pari a  $\Delta L$ .
- Il rapporto  $\Delta L/L_0$  costituisce l'indicazione della deformazione specifica subita dal cilindro. Il valore del rapporto, indicato col simbolo  $\epsilon$ , viene chiamato "strain".

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

- $\epsilon$  è adimensionale, ma viene comunemente misurato in microstrain ( $\mu\epsilon = \epsilon * 10^6$ )
  - Deformazione massima con strain gage metallici 40000  $\mu\epsilon$  (4%)

## Estensimetri – Strain gage



$$\varepsilon = \Delta L / L_0$$

## Estensimetri – Strain gage

- Fattore di gage (gage factor)
  - È possibile ricavare l'espressione della sensibilità dell'estensimetro rapportando la variazione relativa di resistenza  $\Delta R/R_0$  al valore dello strain. Questo fattore viene comunemente indicato con il termine di "fattore di gage" (GF).
  - Il valore del fattore di gage dipende dal materiale utilizzato per la realizzazione dell'estensimetro: per gli estensimetri metallici GF è compreso fra 2 e 4.
  - La variazione della resistenza è tipicamente molto piccola

$$R(\varepsilon) = R_0 (1 + GF \varepsilon)$$

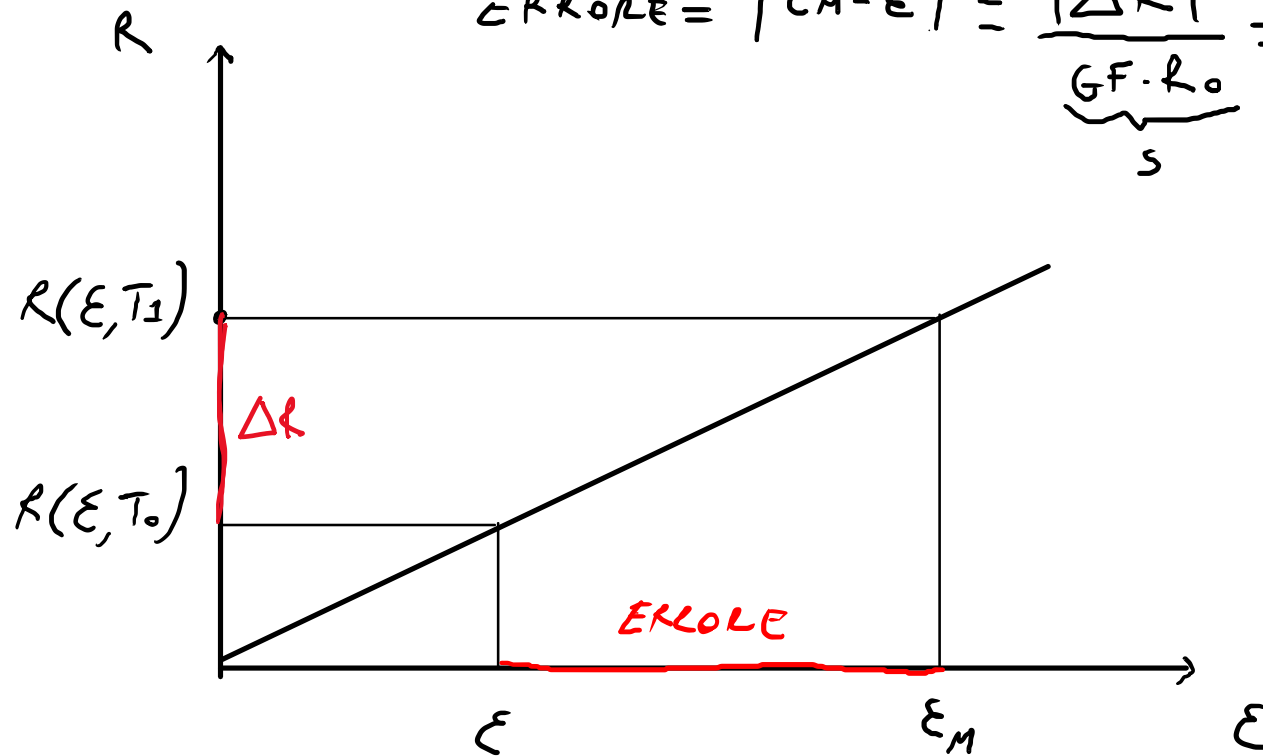
$$S = \frac{dR}{d\varepsilon} = R_0 GF$$

$$GF = \frac{dR/R_0}{\varepsilon} = \frac{dL/L_0}{\varepsilon}$$

# Effetto della temperatura

$$R(\epsilon) = R_0(1 + GF\epsilon) (1 + \alpha \Delta T) \quad \Delta T = T - T_0$$

$$\text{ERRORE} = |\epsilon_M - \epsilon| = \frac{|\Delta R|}{\underbrace{GF \cdot R_0}_S} = \frac{|R(\epsilon, T_1) - R(\epsilon, T_0)|}{GF \cdot R_0}$$



# Influenza temperatura

- Influenza temperatura

Esempio:  $GF=2$ ,  $\epsilon_1 = 1000 \mu\epsilon$ ,  $T_0=20C$ ,  $T_1=40C$ ,  $\alpha = 10 \cdot 10^{-6} C^{-1}$

$$errore = \frac{(R(\epsilon_1, T_1) - R(\epsilon_1, T_0))}{GF \cdot R_0} = 10^{-4} = 100 \mu \epsilon$$

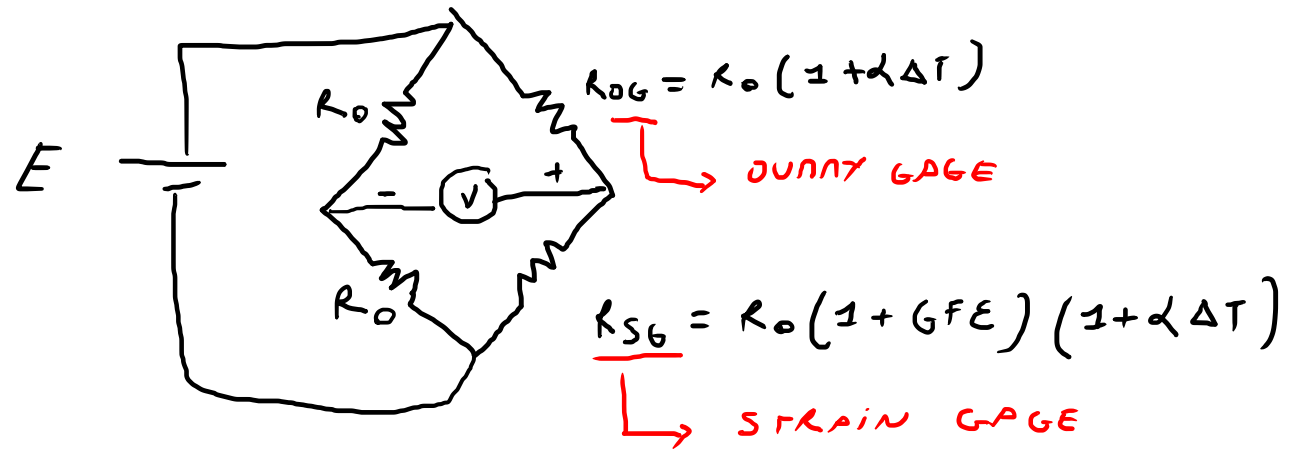
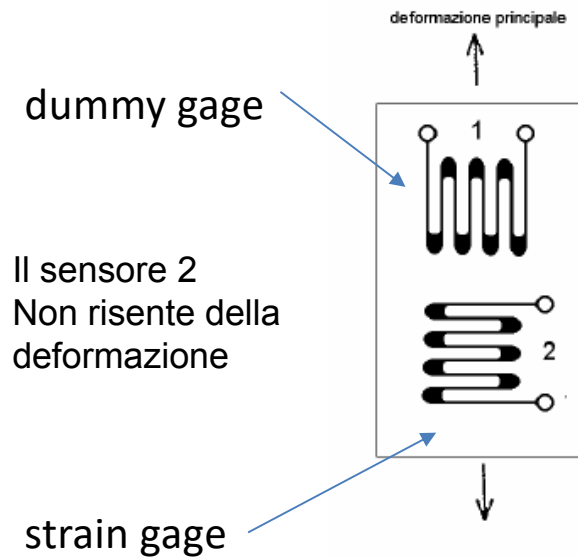
Nota: 20C di variazione implicano 100 $\mu\epsilon$  di errore

È necessario compensare la dipendenza dalla temperatura



# Estensimetri – circuiti di lettura

- Compensazione effetti temperatura



## Dummy gage:

Stesso effetto termico, ma non risente della deformazione

## Estensimetri – circuiti di lettura

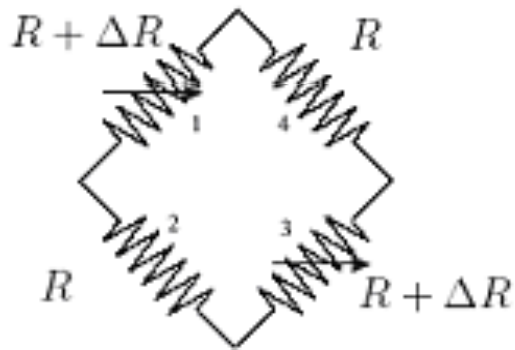
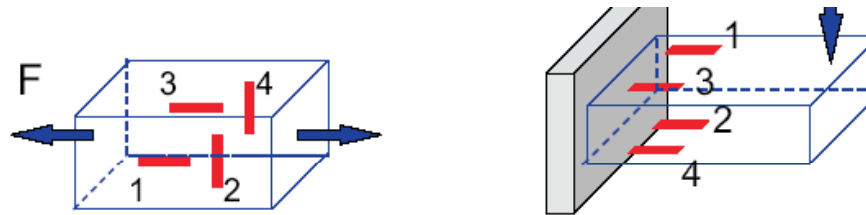
- Compensazione effetti temperatura

$$V = E \left( \frac{\cancel{R_0} (1 + GF E) (\cancel{1 + \alpha \Delta T})}{\cancel{R_0} (1 + GF E) (\cancel{1 + \alpha \Delta T}) + \cancel{R_0} (1 + \alpha \Delta T)} - \frac{1}{2} \right)$$

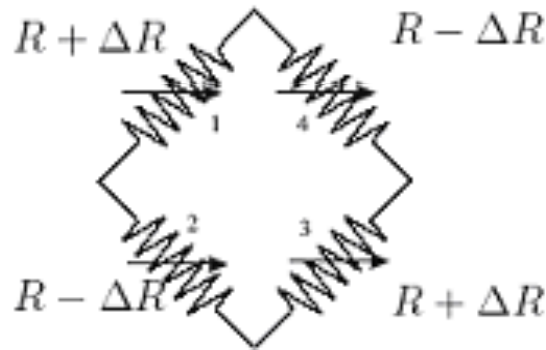
NON DIPENDE  
DA T

$$V = E \left( \frac{1 + GF E}{2 + GF E} - \frac{1}{2} \right) = E \frac{\cancel{2} + 2GF E - \cancel{2} - GF E}{(2 + GF E) \cdot 2} \approx \boxed{\frac{E GF E}{4}}$$

# Dummy gage e configurazioni



$$V_{out} \simeq V_{ref} \frac{1}{2} \frac{\Delta R}{R}$$

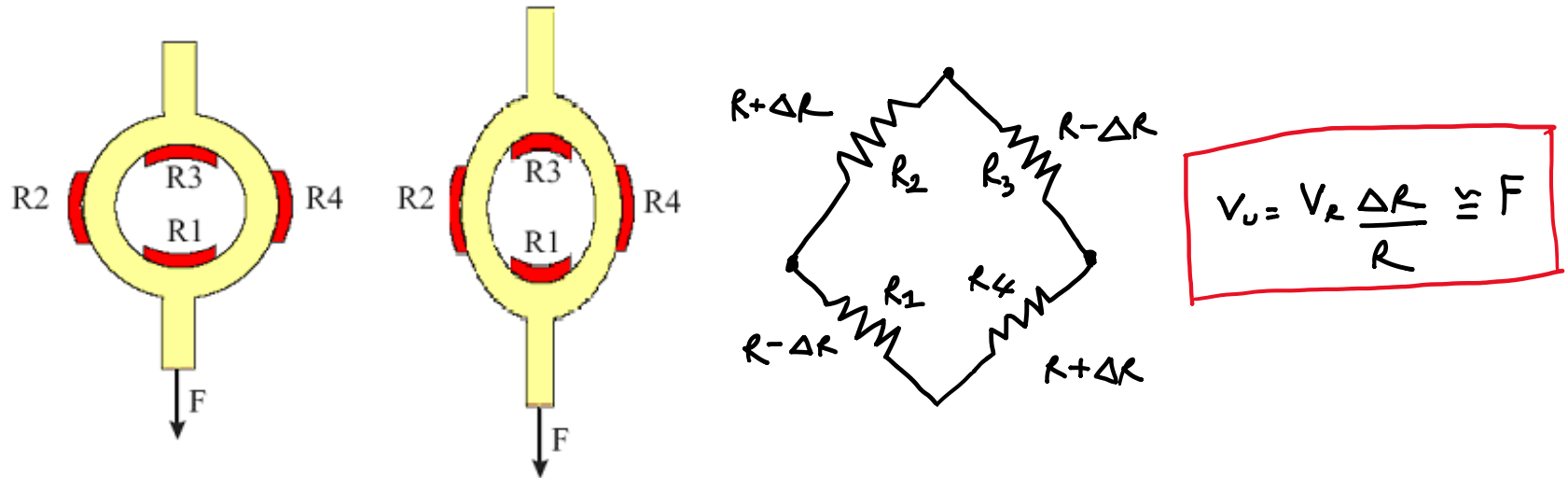


$$V_{out} = V_{ref} \frac{\Delta R}{R}$$

E' possibile aumentare la sensibilità della misura piazzando gli estensimetri in modo che siano deformati simmetricamente a coppie

Nelle altre resistenze del ponte inseriamo i dummy gage per compensare la dipendenza dalla temperatura

# Applicazione: cella di carico



Per la misura della forza F: 4 estensimetri lungo l'anello, F provoca l'allungamento di R2, R4 e una compressione di R1, R3

Massima variazione a seguito dell'applicazione del carico e minimo effetto della variazione di temperatura