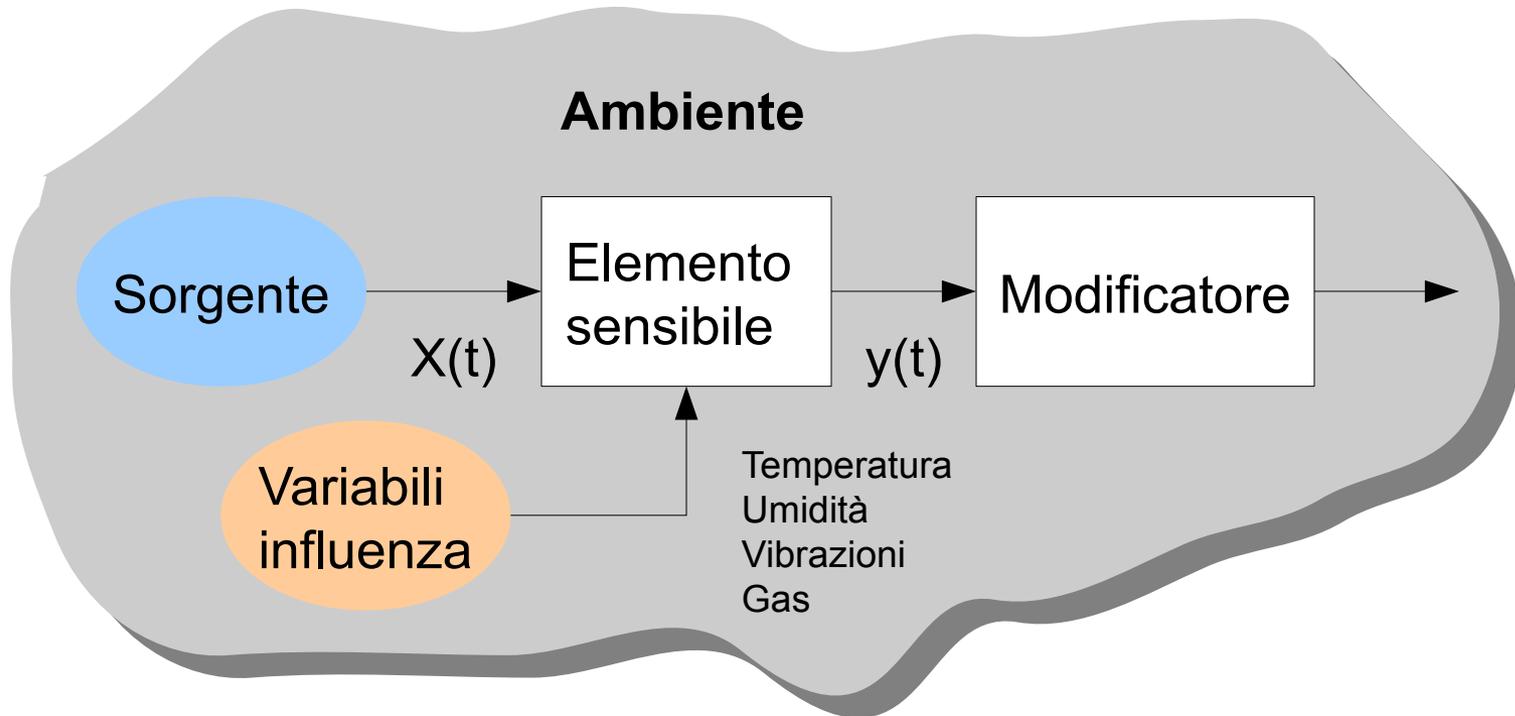


Sensori Fisici

a.tognetti@centropiaggio.unipi.it

Sensori FISICI per misure biomediche

Un sensore è quella parte della catena di misura che converte il misurando in un segnale elettrico.



Tipologie: deformazione, forza, spostamento, accelerazione, velocità, temperatura, flusso termico, flusso di fluidi.....

Sensori fisici

- Misure di temperatura
- Misure di forza deformazione
- Misure di accelerazione

Misure di temperatura

▪ Importanza biomedica

– Scopi diagnostici e di monitoraggio

– **Temperatura interna del corpo**

- La misura con sensori a contatto è il più comune e diffuso metodo di rilevazione.

– **Temperatura superficiale del corpo**

- Anche in questo caso la conoscenza della temperatura può rappresentare un importante strumento diagnostico. Viene misurata sia con tecniche a contatto diretto che per via radiativa.

– **Temperatura sanguigna**

- La temperatura del sangue è abbastanza vicina a quella interna e generalmente è misurata con tecniche di cateterismo intravascolare.

Misure di temperatura

- Obiettivo: misurare la temperatura di un corpo in contatto col sensore
- Tutti i sensori di temperatura, a prescindere dal meccanismo di trasduzione, presentano alcune caratteristiche comuni che influiscono sulle prestazioni del sensore stesso in termini sia di precisione sia di velocità di risposta.
- Queste caratteristiche sono legate al fatto che un sensore di temperatura consta sempre di un elemento sensibile che, per effettuare la misura, deve essere messo in contatto con il corpo (che indicheremo con X) di cui si vuole valutare la temperatura (che indicheremo con T_x).

Analogia elettro-termica

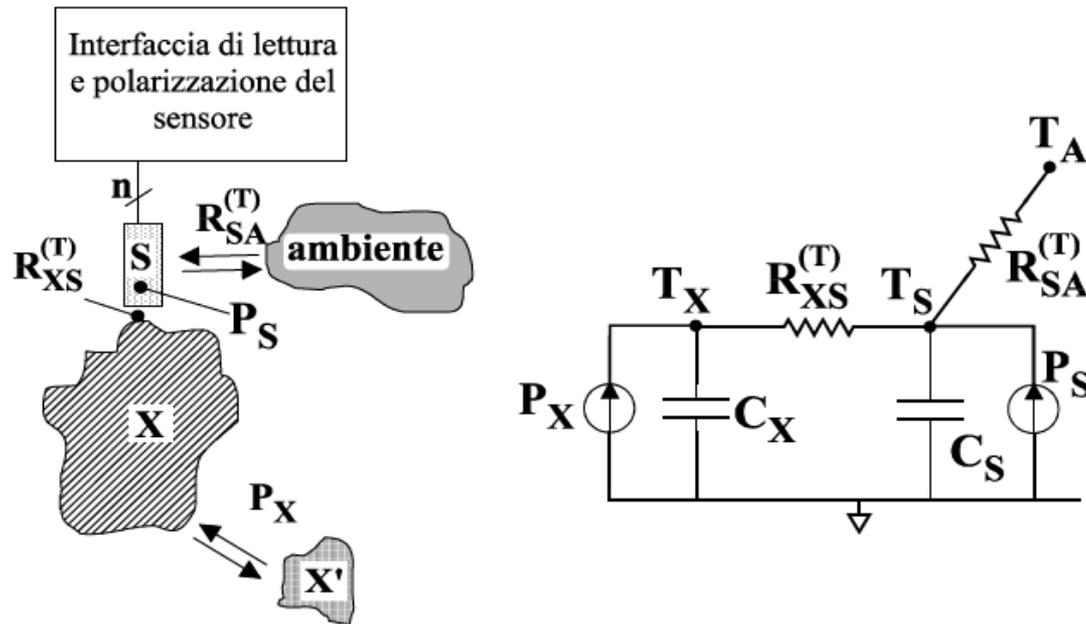
- Il flusso di calore P (Watt) può essere rappresentato da un generatore di corrente elettrica
- Le temperature T nei vari punti hanno un equivalente nella tensione elettrica (Celsius $^{\circ}\text{C}$ o Kelvin K)
- La resistenza termica R^T ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$) è equivalente alla resistenza elettrica
- La capacità C^T termica può essere rappresentata da una capacità elettrica (nel modello si usa la sua reattanza espressa anch'essa in $^{\circ}\text{C}/\text{W}$)
- Si può quindi ricavare un'equazione formalmente uguale alla legge di Ohm

$$\Delta T = R^T P$$

Misure di temperatura

▪ Caratteristiche **ideali**

- Il sensore raggiunge immediatamente la stessa temperatura del corpo in misura
- La temperatura del corpo non viene modificata dal contatto con il sensore



Obiettivo

$$T_s = T_x$$

Errore misura

$$e = (T_s - T_x)$$

Misure di temperatura

▪ Caratteristiche **reali**

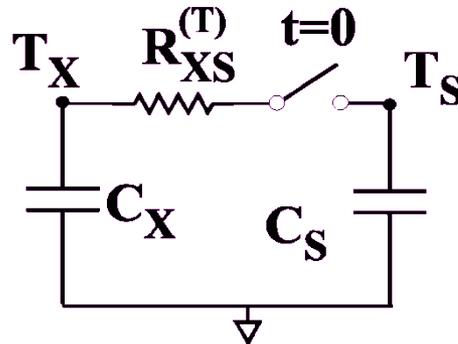
- **Il sensore ha una capacità termica C_s non nulla.** Questo comporta che il sensore, per raggiungere l'equilibrio termico con X deve **assorbire** o **cedere** calore ad X, tendendo a modificare la temperatura T_x
- **La resistenza termica tra sensore e corpo (R_{XS}^T) non è zero:** questo implica che l'equilibrio termico tra il sensore e X necessita di un tempo non nullo per instaurarsi.
- **La resistenza termica tra il sensore e l'ambiente (R_{XA}^T) non è infinita;** ciò ha come conseguenza che attraverso il sensore passa calore dall'ambiente al corpo X, e questo ne modifica ancora la temperatura. Inoltre questo flusso di calore passa attraverso la (R_{XS}^T) causando un salto di temperatura tra il sensore ed X, introducendo quindi un errore nella misura
- **Il funzionamento del sensore stesso può implicare uno sviluppo di calore** che si riverserà in X producendo una differenza di temperatura tra il sensore e il corpo stesso. Essendo generalmente:

$$R_{XS}^T \ll R_{SA}^T$$

Misure di temperatura

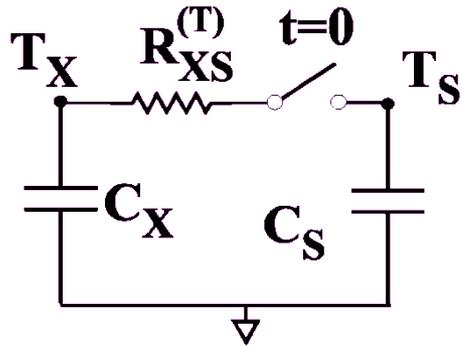
Caso 1: Per comprendere il ruolo dei vari elementi dello schema della figura conviene far riferimento ad alcuni schemi semplificati.

Mettiamo in evidenza il ruolo delle capacità termiche, consideriamo isolati sia il sensore che il corpo X , giungendo allo schema di figura (a).



Misure di temperatura

La chiusura del tasto T simboleggia l'istante in cui X e S vengono messi a contatto per effettuare la misura. La risoluzione del circuito dà come risultato, per la temperatura T_s :



**NB: solo se $C_X \gg C_S$
 T_f approssima $T_X(0)$**

$$T_s = T_f + (T_s(0) - T_f) e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$T_f = \frac{C_S T_S(0) + C_X T_X(0)}{C_X + C_S}$$

$$\tau = R_{XS}^T C_{serie}$$

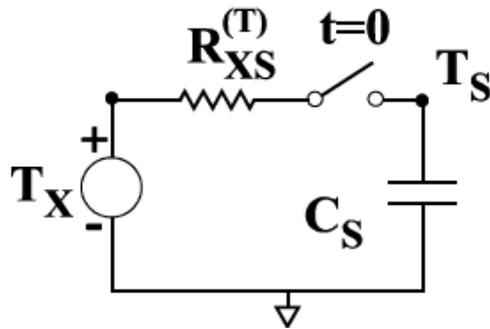
$$C_{serie} = \left(\frac{1}{C_S} + \frac{1}{C_X} \right)^{-1}$$

Misure di temperatura

- Risposta esponenziale (sistema primo ordine)
- Equilibrio: T_x e T_s sono uguali (T_f), ma sono diversi dalla quantità che volevamo misurare $T_x(0)$
- Errore: $T_f - T_x(0)$
 - diminuisce al diminuire di C_s
 - Se il sensore ha capacità termica trascurabile rispetto al corpo T_f approssima $T_x(0)$
 - Per basse capacità termiche del sensore diminuisce il tempo di risposta.
- Bassa capacità termica del sensore
 - Miniaturizzazione

Misure di temperatura

Caso 2: Tx imposta da meccanismi esterni, non perturbabile dal sensore. Sensore isolato che non produce calore



$$T_s = T_f + (T_s(0) - T_f) e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$T_f = T_X(0)$$

$$\tau = R_{XS}^T C_S$$

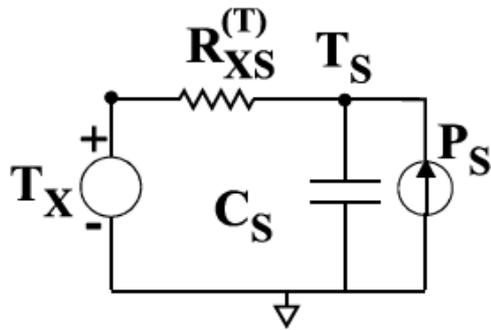
Errore a regime nullo
Velocità risposta
determinata da C_S

Comportamento d a
filtro passa basso
rispetto alle variazioni
di Tx

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_{XS}^T C_S}$$

Misure di temperatura

Caso 3: T_x imposta da meccanismi esterni. Il sensore produce calore (auto-riscaldamento)



$$T_s = T_f + (T_s(0) - T_f) e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$T_f = T_x(0) + R_{XS}^T P_s$$

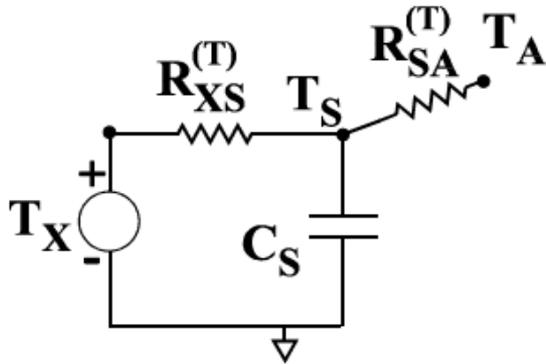
$$\tau = R_{XS}^T C_S$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_{XS}^T C_S}$$

Errore a regime non nullo
Minimizzazione resistenza termica

Misure di temperatura

Caso 4: T_x imposta da meccanismi esterni. Il sensore non produce calore ma non è isolato dall'ambiente (cause: segnale prelevato attraverso conduttori elettrici che sono ottimi conduttori di calore)



$$T_f = T_x + (T_A - T_x) \left(\frac{R_{XS}^T}{R_{SA}^T + R_{XS}^T} \right)$$

Errore a regime non nullo

Minimizzazione resistenza termica tra sensore e corpo,
massimizzazione resistenza termica tra sensore ed ambiente

Sensori resistivi

- Sensore resistivo: La resistenza elettrica varia in funzione del misurando
- Il misurando (temperatura, deformazione) può far variare conduttore le seguenti grandezze:
 - Proprietà fisiche
 - Dimensioni geometriche
- Esempi: termo-resistenze, estensimetri (strain gauges)

Trasduttori termoresistivi

- I trasduttori termoresistivi sfruttano la proprietà di alcuni metalli e semiconduttori di cambiare la loro resistenza con la temperatura. Tale dipendenza è descritta da opportune equazioni che introducono un coefficiente termico della resistenza caratteristico del tipo di metallo o semiconduttore utilizzato

$$TCR(T_0) = \frac{1}{R(T_0)} \frac{dR}{dT}(T_0)$$

- Materiali: metalli, miscele di ossidi metallici compressi (sinterizzati), cristalli di semiconduttori drogati
- Il TCR dipende dalla **temperatura**, dalle caratteristiche del materiale utilizzato e non dalla geometria del resistore

$$R(T) = R(T_0) \left(1 + \alpha(T - T_0) + \alpha_1(T - T_0)^2 + \dots \right)$$

$$R(T) \approx R(T_0) \left(1 + \alpha(T - T_0) \right) = R(T_0) \left(1 + TCR(T - T_0) \right)$$

Proprietà fisiche materiali termoresistivi

Materiale	Resistività ($\mu\Omega$ cm)	Coeff. termico x 100 ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)	Errore di linearità (%)	Campo d'uso ($^{\circ}\text{C}$)
Rame	1,7	0,4	0	-200 +260
Platino	10,8	0,38	0,12	-260 +850
Nichel	7	0,6	1,6	-80 +300
Nichel-Ferro	20	0,5	1,2	-200 +230
Silicio (drogato)	$1,4 \cdot 10^6$	0,7	-	-
Termistori	10^9	-4	-	-25 +200

Trasduttori termoresistivi

- Sensori a filo o film metallico
 - RTD: resistive temperature detectors
 - Variazioni lineari della resistenza con la temperatura
 - Platino: $TCR = 3.85 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
 - Elevata stabilità chimica, stabilità temporale della risposta
 - Costi relativamente alti
 - Altri materiali: nickel, ferro-nickel

$$R = R_0(1 + \alpha \Delta T)$$

$$TCR = \alpha = \frac{1}{R_0} \frac{dR}{dT}(T_0)$$

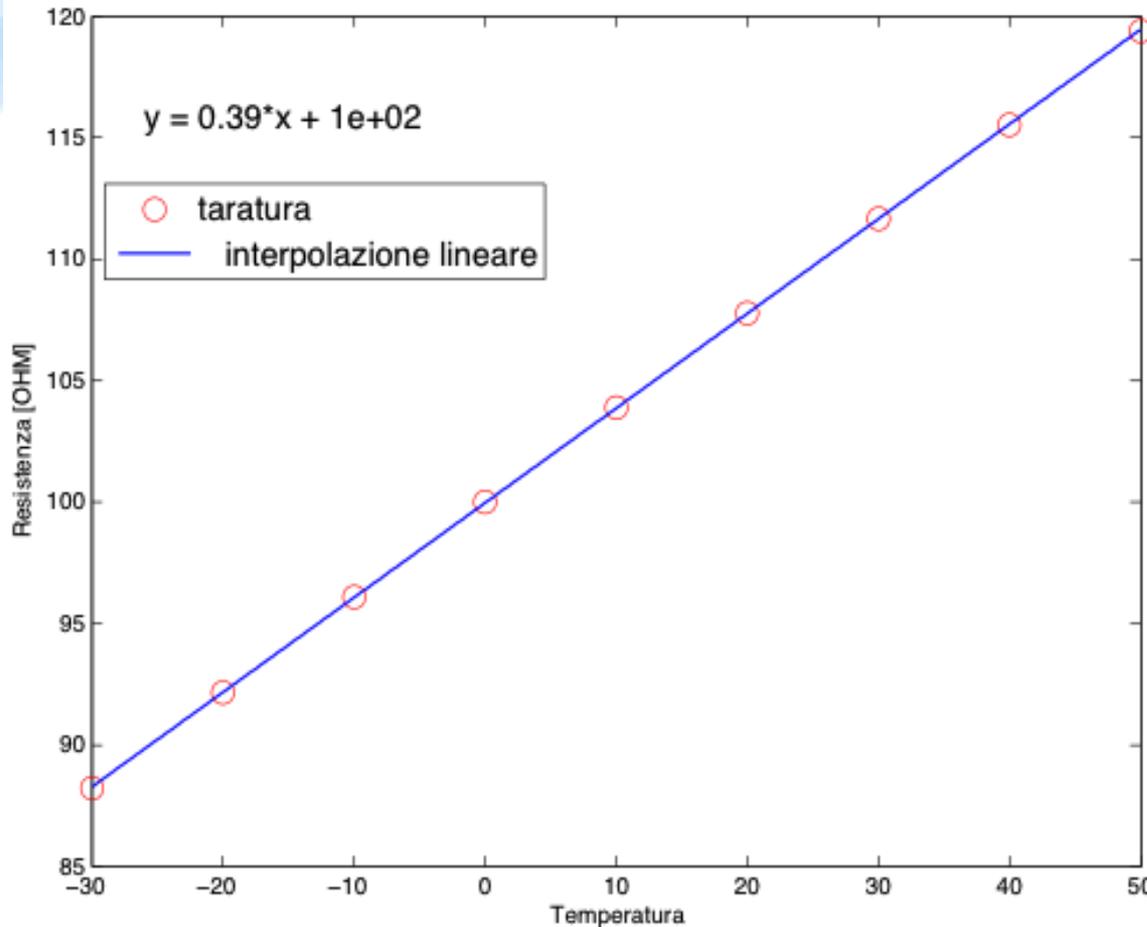
T (°C)	R (Ω)	T (°C)	R (Ω)	T (°C)	R (Ω)	T (°C)	R (Ω)
-200	18.56	-30	88.22	60	123.24	350	229.72
-150	39.73	-20	92.16	70	127.07	400	247.11
-100	60.27	-10	96.09	80	130.89	450	264.20
-90	64.31	0	100.00	90	134.70	500	281.01
-80	68.33	10	103.90	100	138.50	550	297.53
-70	72.34	20	107.79	150	157.32	600	313.77
-60	76.33	30	111.67	200	175.85	650	329.7
-50	80.31	40	115.54	250	194.09	700	345.5
-40	84.28	50	119.40	300	212.05	750	360.8

PT100

Se occorrono precisioni maggiori
Passo ad approssimazioni
di ordine superiore

$$R = R_0(1 + \alpha_1 \Delta T + \alpha_2 \Delta T^2 + \dots + \alpha_n \Delta T^n)$$

Sensori termoresistivi



$y = sx + R(0)$ Inverso funzione di taratura

$s = 0.39$ Ohm/C **sensibilità**

$R(0) = 100$ Ohm **offset**
(uscita con misurando nullo)

$c = 1/s = 2.56$ C/Ohm
Costante di taratura

$$TCR(0^\circ C) = \frac{1}{R(0)} \frac{dR}{dT}(0) = \frac{c}{R(0)} = \frac{0.39}{100} = 39 \cdot 10^{-3}$$

Precisione: Tolleranza sul valore della resistenza a 0°C

Esempio: ± 0.1 Ohm, ottengo una precisione di ± 0.26 C

(moltiplico per la sensibilità o divido per il coefficiente di taratura)

Trasduttori termoresistivi

▪ Termistori

- Resistori ad ossidi metallici la cui resistenza varia fortemente con la temperatura
- NTC
 - TCR negativo
 - Sono i più usati
 - Fortemente non lineari
- PTC
 - TCR positivo
 - Usati principalmente nei circuiti di termoregolazione

Termistori

$$R = R(T_0) \exp \left[B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right]$$

$$TCR = -\frac{B}{T^2}$$

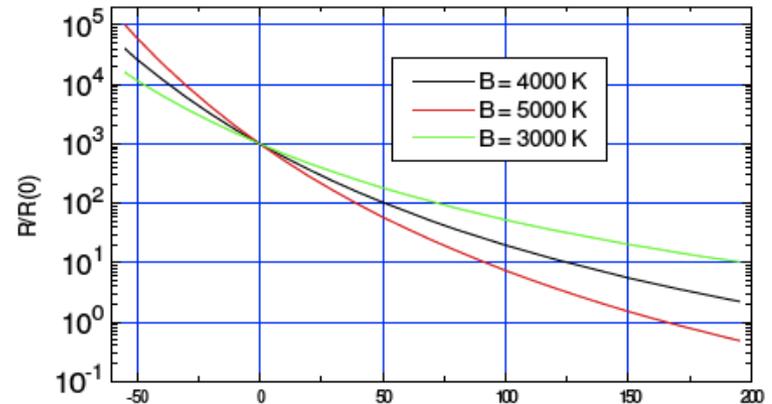
$R(T_0)$ [1 kOhm - 1MOh]

T Espressa in Kelvin

T_0 Temperatura di riferimento

B Temperatura caratteristica [1500-6000 K]

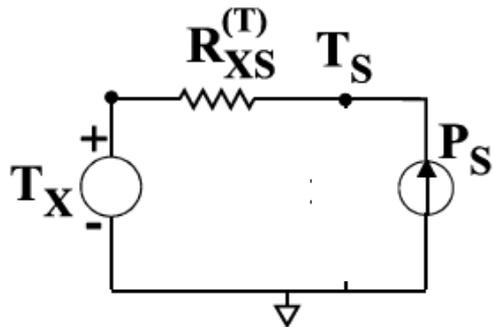
Sensibilità a temperatura ambiente un ordine di grandezza maggiore di quella degli RTD



Autoriscaldamento e Linearizzazione termistore (1)

- Relazione Resistenza/Temperatura fortemente non lineare
- Parametri
 - Si consideri un termistore $R(T_0)$, β , T_0
 - Si consideri un corpo a temperatura T_x con capacità termica infinita
 - Si consideri il sensore alimentato con una certa corrente I
- Necessità di linearizzazione all'intorno del punto di lavoro T_x
 - L'approssimazione lineare sarà valida all'interno di un intorno di T_x
- Necessità di valutare che l'intrinseco errore di auto-riscaldamento non invalidi l'approssimazione

Equivalente termico a **regime**



$$T_s = T_x + R_{XS}^T \cdot P_s = T_x + R_{XS}^T \cdot R(T_s) \cdot I^2$$

Errore di **auto-riscaldamento**

$$\Delta T = T_s - T_x = R_{XS}^T \cdot R(T_s) \cdot I^2$$

Autoriscaldamento e Linearizzazione termistore (2)

- L'errore di auto-riscaldamento (ΔT) dipende da T_s in modo non lineare (tramite $R(T_s)$)
- Linearizzazione di $R(T)$ intorno al punto di lavoro (temperatura del corpo T_x)

$$R(T) = R(T_x) + \frac{dR}{dT}(T_x)(T - T_x)$$

Sviluppo in serie di Taylor
Fino al primo ordine

$$R(T) = R(T_x) \left(1 + \frac{1}{R(T_x)} \cdot \frac{dR}{dT}(T_x)(T - T_x) \right) = R(T_x) (1 + TCR(T - T_x))$$

$$R(T_x) = R_0 \exp \left[B \left(\frac{1}{T_x} - \frac{1}{T_0} \right) \right]$$

$R(T_x) \cdot TCR$ sensibilità
Inverso costante taratura

$$TCR = -\frac{\beta}{T_x^2}$$

Autoriscaldamento e Linearizzazione termistore (4)

- Determiniamo l'errore di auto-riscaldamento con la relazione linearizzata

$$\Delta T = T_s - T_x = R_{XS}^T P_s = R_{XS}^T \cdot R(T_s) \cdot I^2$$

$$\Delta T = T_s - T_x = R_{XS}^T \cdot R(T_x) \left(1 + TCR \cdot (T_s - T_x) \right) \cdot I^2$$

$$\Delta T = R_{XS}^T \cdot R(T_x) \left(1 + TCR \cdot \Delta T \right) \cdot I^2$$

$$\Delta T = \frac{R_{XS}^T \cdot R(T_x) \cdot I^2}{1 - R_{XS}^T \cdot TCR \cdot R(T_x) \cdot I^2}$$

$$T_s = \Delta T + T_x$$

Autoriscaldamento e Linearizzazione termistore (4)

- L'approssimazione lineare è valida per ΔT piccoli (T_s vicino al punto di lavoro)

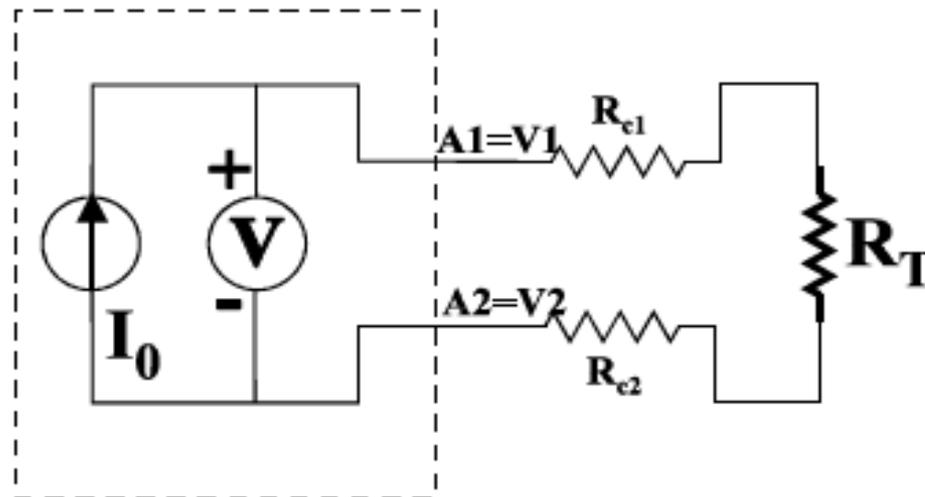
Esempio

- $T_0 = 20^\circ\text{C}$ (293K), $R(T_0) = 500 \text{ Ohm}$, $B = 4000 \text{ K}$, $R_{xS}^T = 80 \text{ K/W}$, $T_x = 36.5^\circ\text{C}$ (309.5 K), $I = 7\text{mA}$
- Otteniamo: $\Delta T = 0.916^\circ\text{C}$ ovvero $T_s = T_x + \Delta T = 37.416^\circ\text{C}$
- Se ΔT è accettabile per la nostra applicazione (e.g. $\Delta T < 0.1^\circ\text{C}$) il sensore è utilizzabile per misurare la temperatura di interesse
- Attenzione valutare l'errore di linearizzazione, se ΔT fosse troppo elevata l'approssimazione lineare potrebbe essere non più valida

Circuiti di misura

- 2 fili

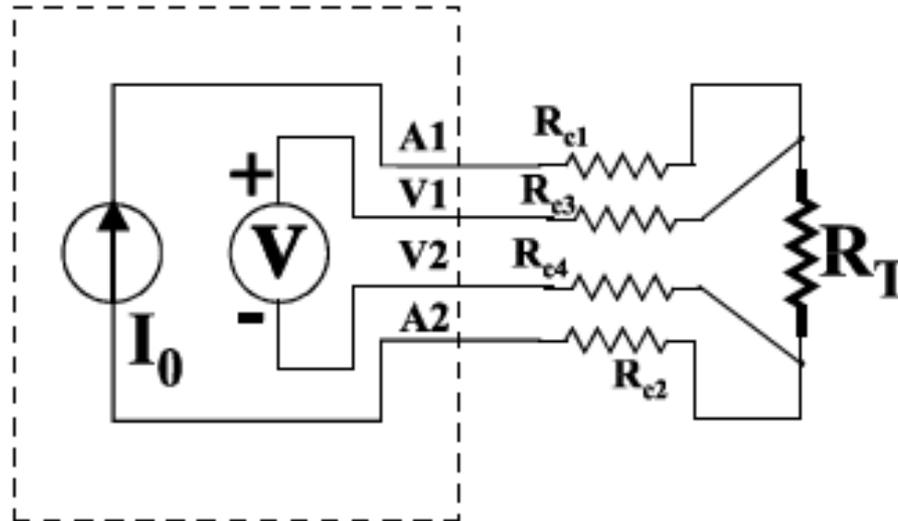
- La misura viene effettuata sugli stessi conduttori che trasportano la corrente di polarizzazione
- Esempio: PTC, $R_{c1}+R_{c2}=0.4$ Ohm, Errore 1°C



Circuiti di misura

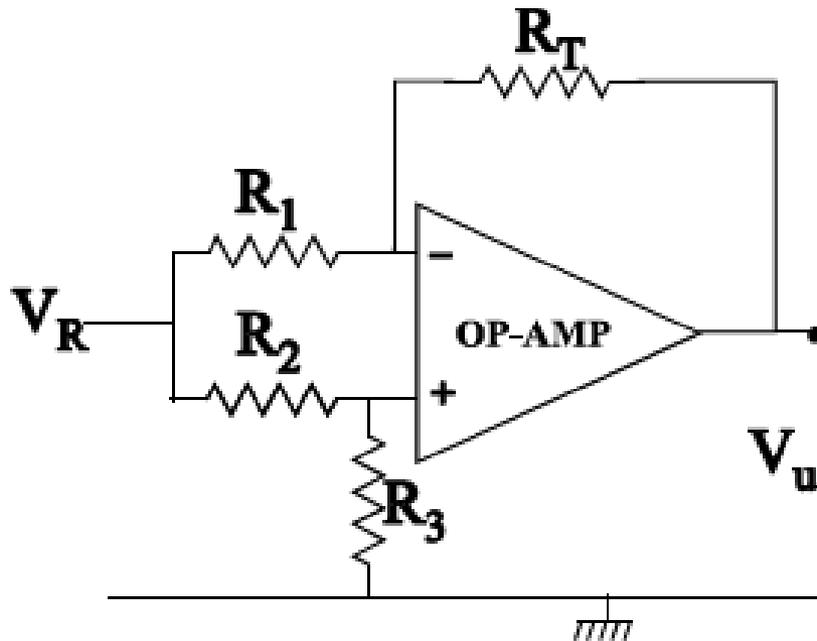
- 4 fili

- La corrente di polarizzazione viene portata attraverso conduttori separati rispetto a quelli di misura
- Risolve il problema precedente



Circuiti di misura

- Esempio 2 fili



$$\frac{R_3}{R_2} = \frac{R_T(T_0)}{R_1} \quad I_0 = \frac{V_R R_2}{R_1(R_2 + R_3)}$$

$$V_u(T) = -\frac{V_r}{R_3 + R_2} \frac{R_2}{R_1} R_T(T_0) \alpha (T - T_0)$$

$$V_u(T) = -I_0 R_T(T_0) \alpha (T - T_0)$$

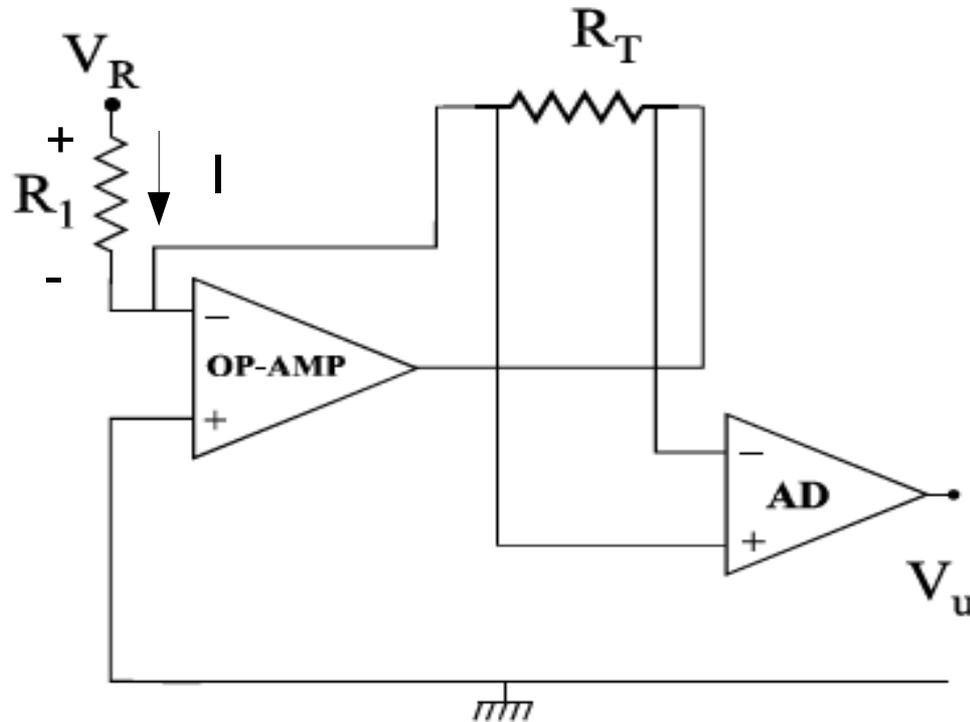
$$V_u(T_0) = 0; \quad \left[\frac{dV_u}{dT} \right]_{T=T_0} = -\alpha I_0 R(T_0)$$

Compromesso tra
sensibilità e errore di
autoriscaldamento

Circuiti di misura

- Esempio 4 fili

$$I = \frac{V_r}{R_1}$$



$$V_u = \frac{V_r}{R_1} R_T A$$

Circuiti di misura

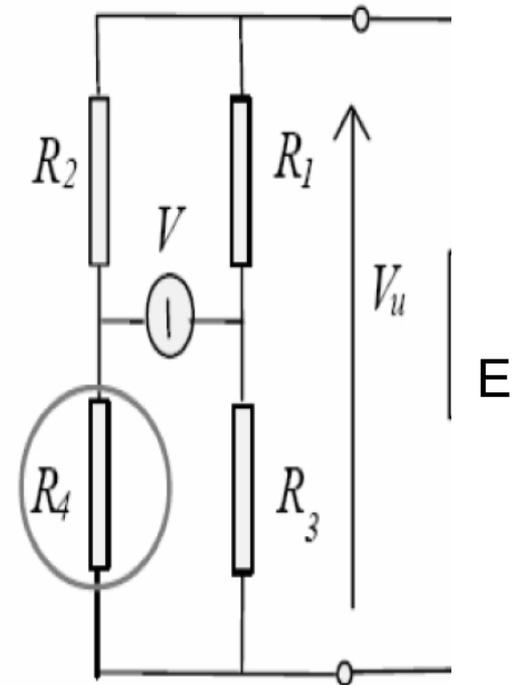
PTC

- $R_0 = R(0C) = 100 \text{ Ohm}$
- $\alpha = 3-4 \cdot 10^{-3} \text{ C}^{-1}$
- Occorre una tecnica di misura molto sensibile
 - variazione di 1C genera una variazione di resistenza di $3 * 100 * 10^{-3} = 0.3 \text{ Ohm}$
- Ponte di wheatstone

°C (PTC)

tecnica di
misure

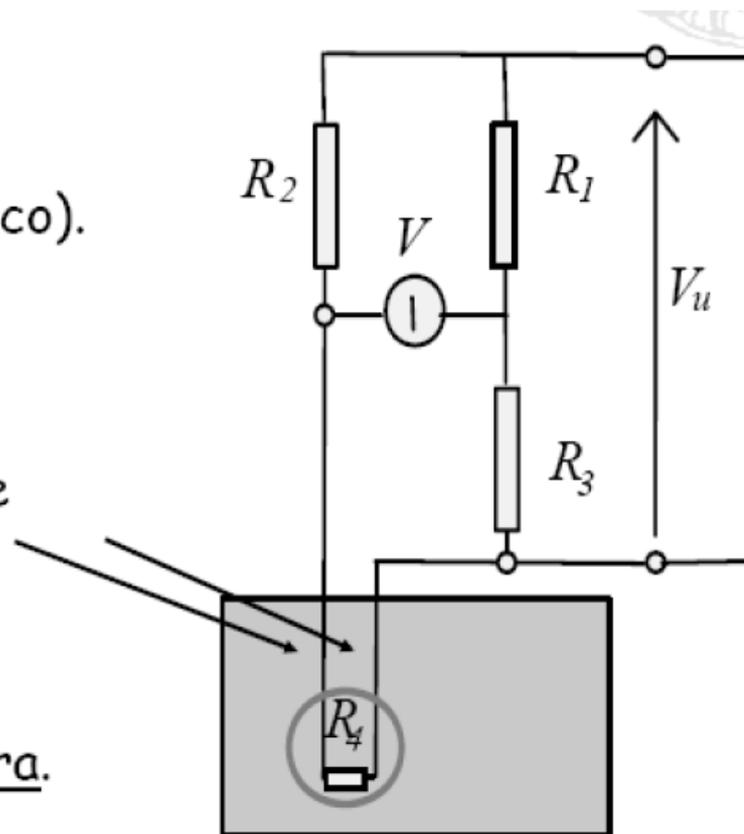
strumento



$$V = \frac{E \alpha (T - T_0)}{4}$$

Circuiti di misura

- Applicazione clinica può richiedere misura temperatura interna (es. catetere intra-cardiaco).
- Errori per ingresso indesiderato: ΔT sui cavi di connessione (interni).
- Ponte di Wheatstone compensato in temperatura.

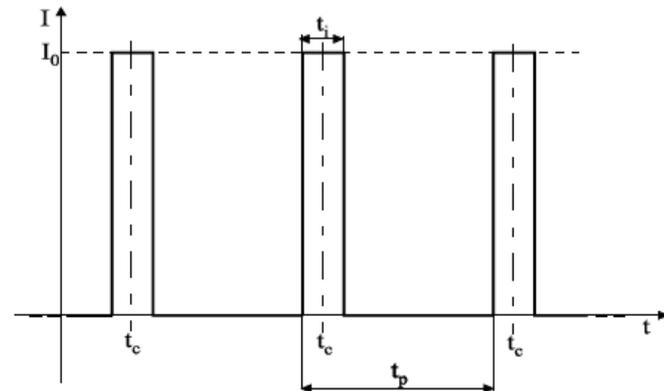


Fenomeno dell'auto-riscaldamento

- Sensori resistivi sono soggetti ad auto-riscaldamento in quanto attraversati dalla corrente I_0 di polarizzazione
- Una riduzione della corrente riduce l'auto-riscaldamento, ma riduce anche la sensibilità del sistema
 - Effetto della variazione dovuta alla temperatura paragonabile col rumore

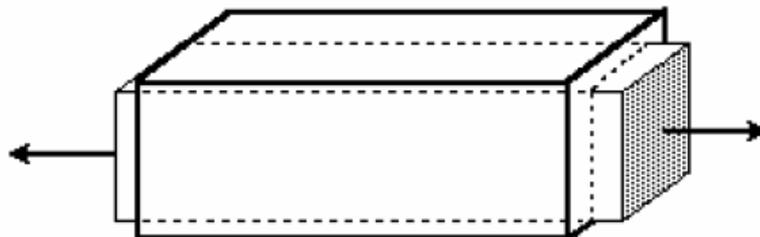
$$T = T_x + P_s R_{XS}^{(T)} \quad \text{con:} \quad P_s = I_0^2 R_T(T) \quad T = T_x + I_0^2 R_T(T) R_{XS}^{(T)}$$

- Alternativa: polarizzazione con corrente impulsata con frequenza maggiore della frequenza di taglio del sistema e campionamento per valori alti della corrente
 - **Il sensore non fa in tempo a riscaldarsi**



Estensimetri – Strain gage

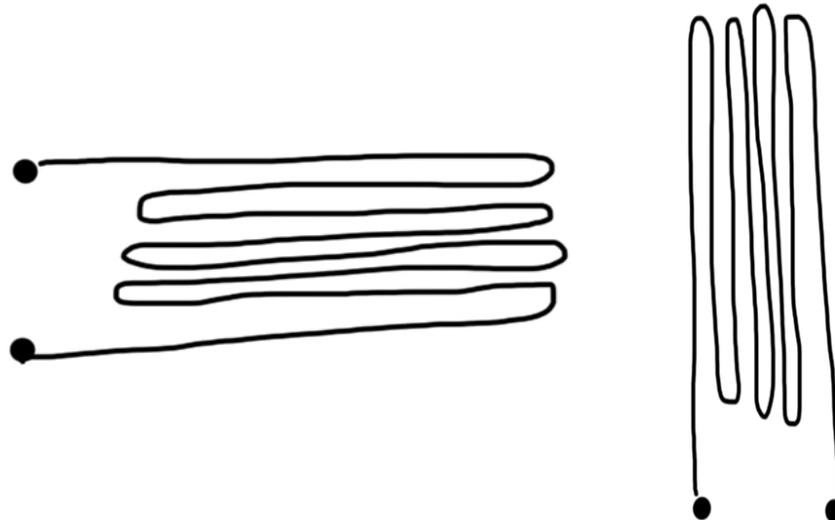
- L'estensimetro (Strain gage) è un sensore in cui la deformazione elastica subita da un elemento metallico oppure da un semiconduttore si riflette nella variazione della resistenza dell'elemento.
- Sono utilizzati per la misura di deformazione e conseguentemente di forza/pressione (conoscendo le proprietà elastiche del mezzo a cui vengono applicati)
- Tre sono le principali tipologie costruttive degli estensimetri:
 - 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

- Semiconduttore

- Gli estensimetri a semiconduttore vengono realizzati mediante un processo di drogaggio del supporto che porta ad ottenere una pista conduttiva di forma analoga a quella dell'estensimetro a deposito metallico su film. Il supporto è frequentemente realizzato con la tecnologia del film spesso (thick film)

- I valori nominali di resistenza per gli estensimetri a deposito metallico su film sono compresi fra 100Ω e $1k\Omega$, con delle tolleranze di produzione dell'ordine del $\pm 2\%$

- Gli estensimetri a semiconduttore hanno invece resistenze comprese fra 60Ω e $10k\Omega$ con delle tolleranze che vanno dall'1% al 10%

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 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 ΔL .
- Il rapporto $\Delta L/L$ costituisce l'indicazione della deformazione specifica subita dal cilindro. Il valore del rapporto, indicato col simbolo ϵ , viene chiamato "strain".

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

- ϵ 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

- Fattore di gage (gage factor)

- È possibile ricavare l'espressione della sensibilità dell'estensimetro rapportando la variazione relativa di resistenza $\Delta R/R$ al valore dello strain. Questo fattore viene comunemente indicato con il termine di "fattore di gage" (GF).

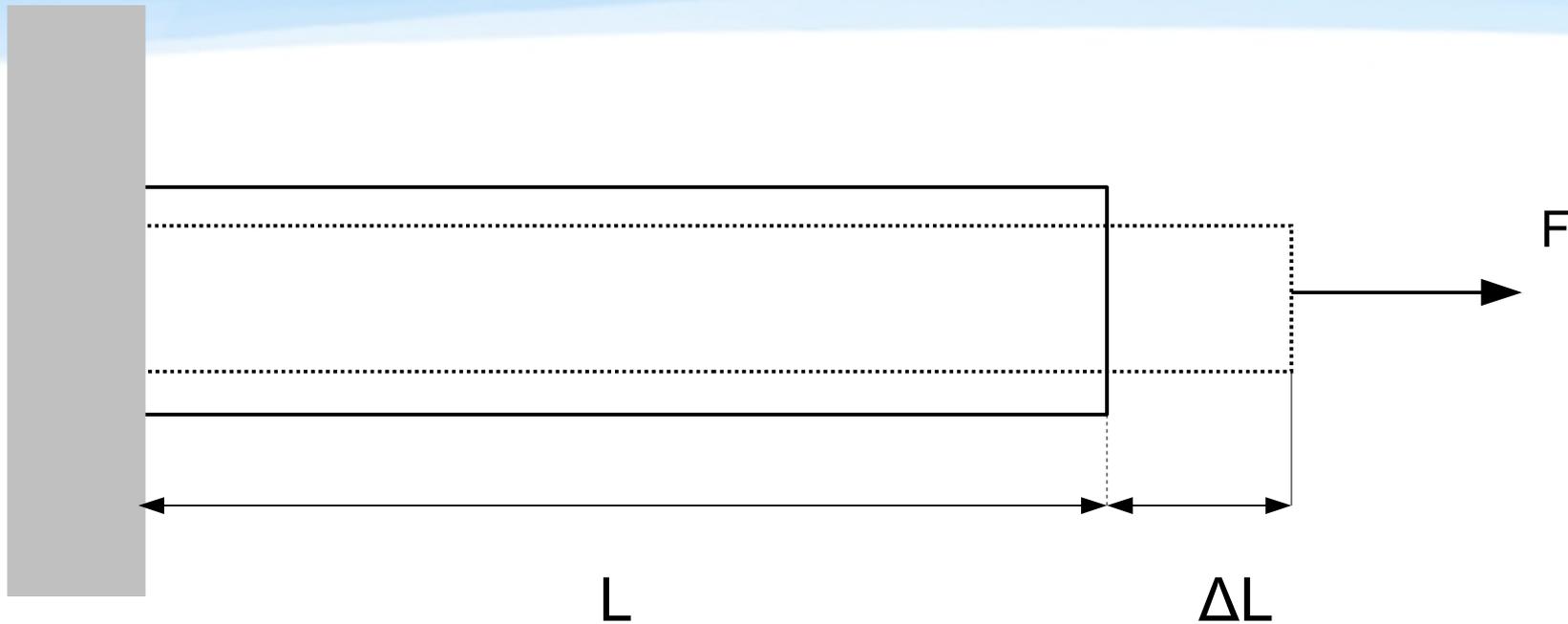
$$GF = \frac{\Delta R/R}{\Delta L/L} \quad \Delta R/R = GF \epsilon$$

- 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
- Il valore del fattore di gage è influenzato dalla temperatura

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

Materiale	G
Platino	6
Costantana	2
NichelCromo	2.5
Silicio(tipo p)	100-170

Estensimetri – Strain gage

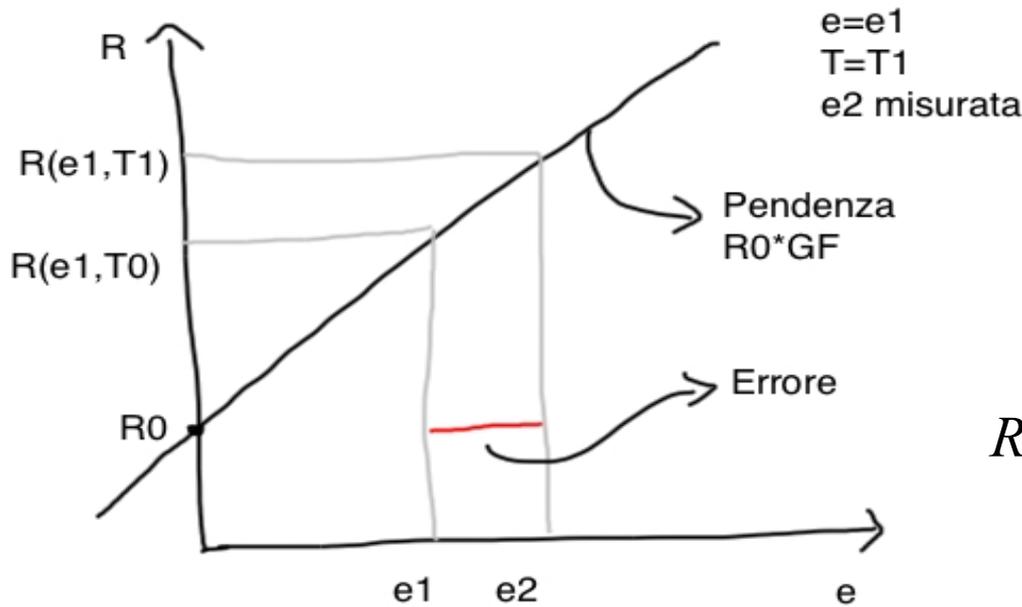


$$\epsilon = \Delta L / L$$

$$GF = \frac{\Delta R \setminus R}{\Delta L \setminus L}$$

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

Effetto temperatura



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

$$errore = |\epsilon_2 - \epsilon_1| = \Delta \epsilon = \frac{\Delta R}{R_0 GF}$$

$$R(\epsilon_1, T_1) - R(\epsilon_1, T_0) = \Delta R$$

$$\frac{\Delta R}{\Delta \epsilon} = R_0 GF$$

Influenza temperatura

- Influenza temperatura

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

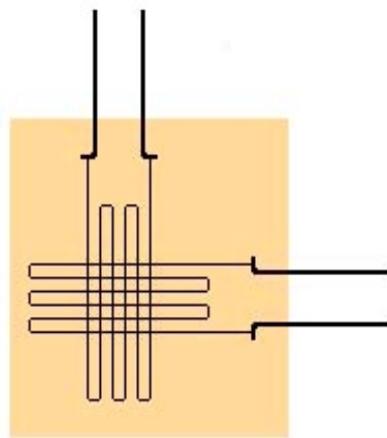
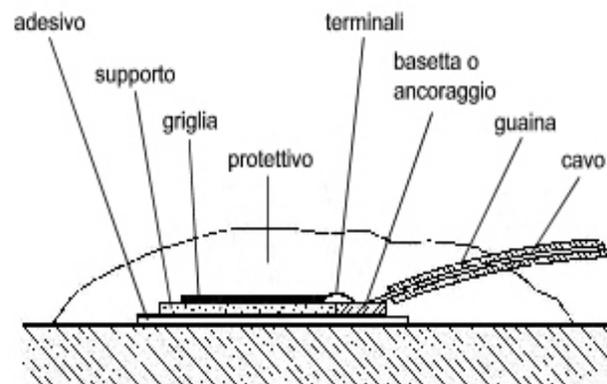
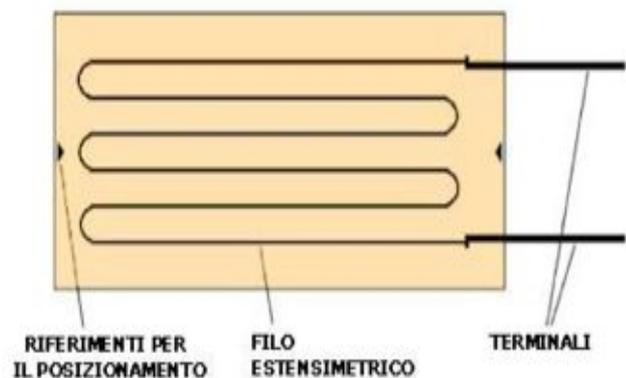
$$errore = \frac{(R(\epsilon_1, T_1) - R(\epsilon_1, T_0))}{GF \cdot R_0} = 10^{-4} = 100 \mu \epsilon$$

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

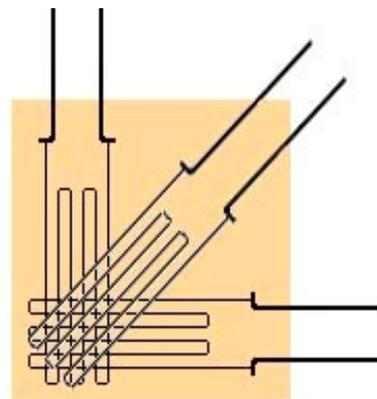
È necessario compensare la dipendenza dalla temperatura

Estensimetri – configurazioni

Asse di sensibilità

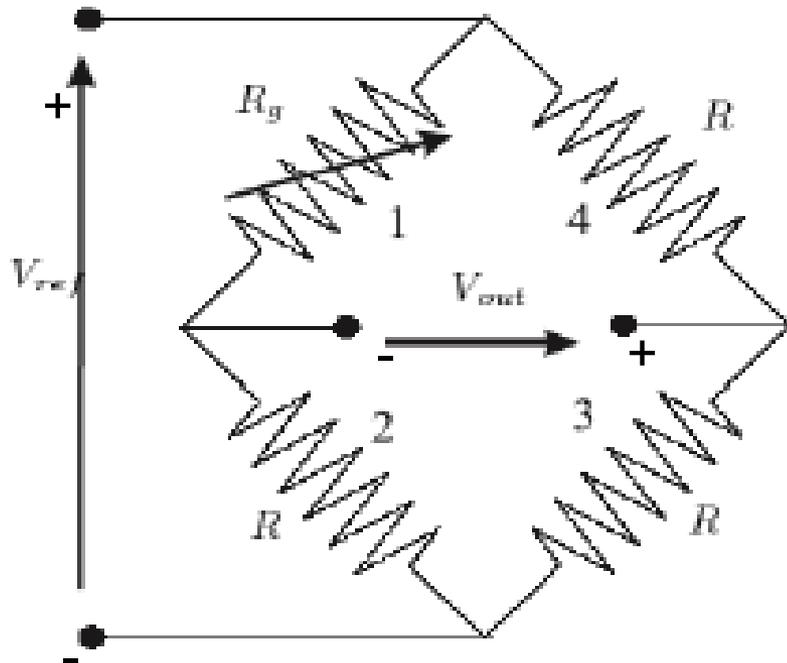


Estensimetro biassiale
con griglie a 90°



Estensimetro triassiale
con griglia intermedia
a 45°

Estensimetri – circuiti di lettura



Ponte di Wheatstone

Resistenza del
sensore = R in
assenza di
deformazione

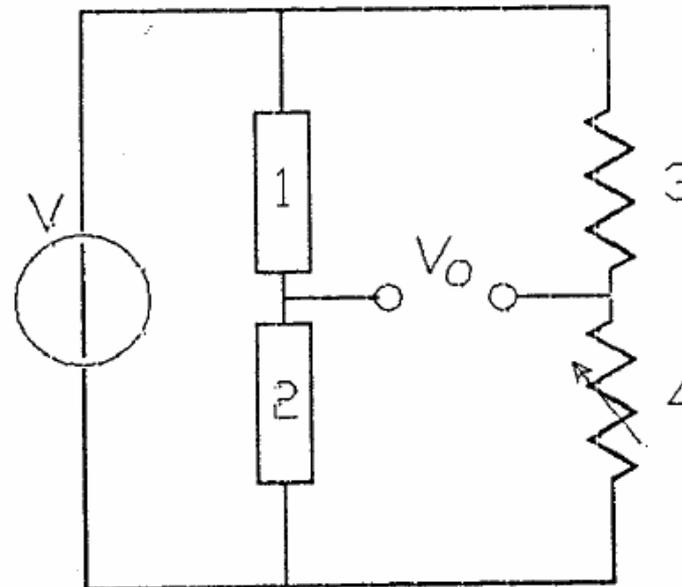
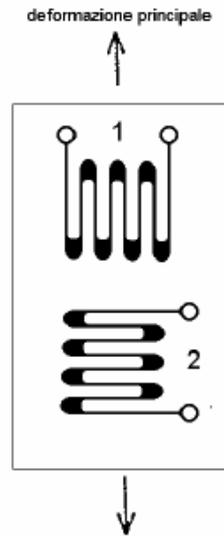
$$V_{out} = V_{ref} \left(\frac{R}{2R} - \frac{R}{R + R + \Delta R} \right) = V_{ref} \left(\frac{\frac{\Delta R}{R}}{4 + 2 \frac{\Delta R}{R}} \right) \approx V_{ref} \frac{1}{4} \frac{\Delta R}{R}$$

$$\Delta R = R_0 GF \epsilon$$

Estensimetri – circuiti di lettura

- Compensazione effetti temperatura

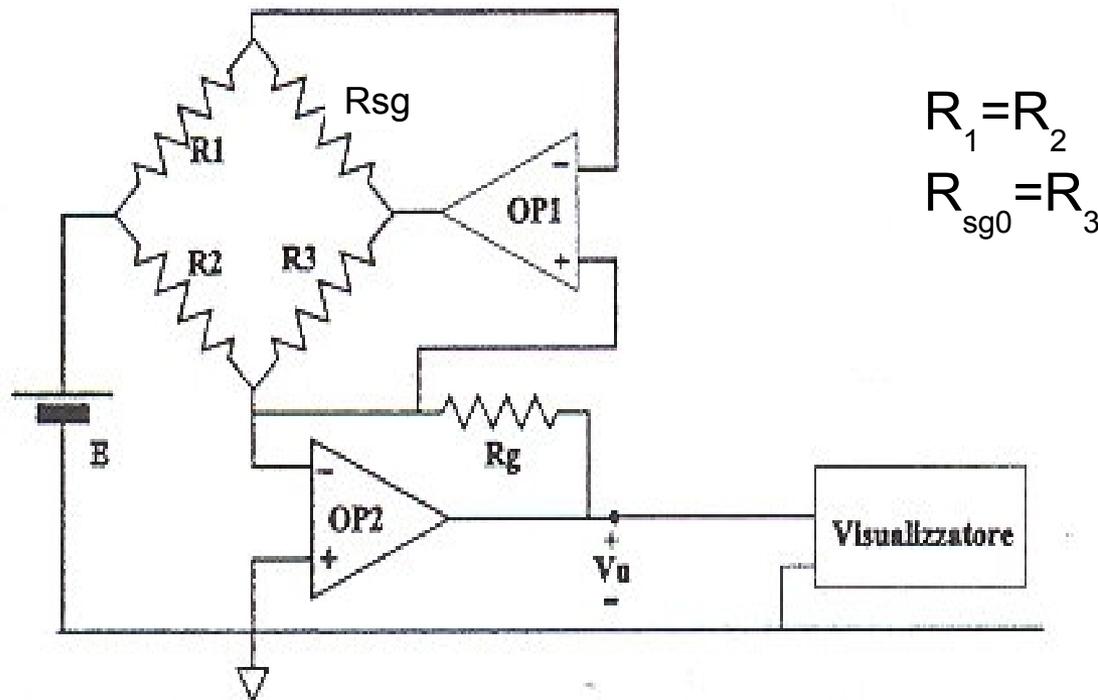
Il sensore 2
Non risente della
deformazione



Dummy gage:

Stesso effetto termico, ma non risente della deformazione

Estensimetri – circuiti di lettura



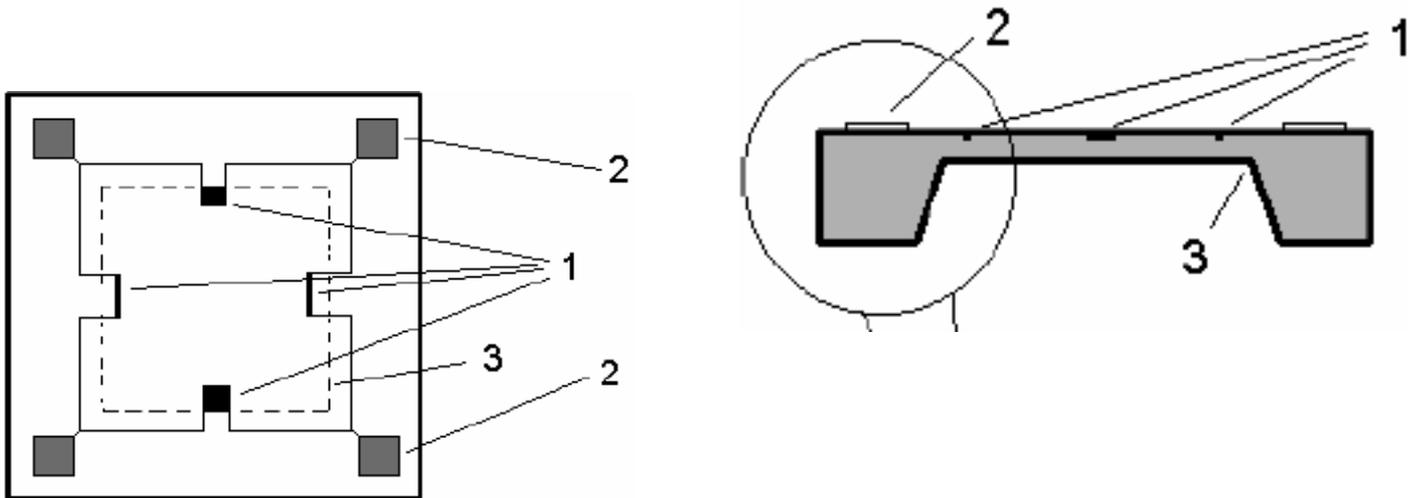
Estensimetri - applicazioni biomediche

- I sensori piezoresistivi vengono utilizzati, in campo biomedico, in quelle applicazioni in cui è importante misurare variazioni dimensionali o stati di tensione meccanica. Esempi di questo tipo possono essere la misura della variazione della circonferenza della gabbia toracica per il monitoraggio della respirazione o il rilevamento delle variabili cinematiche di parti del corpo in movimento. Un'altra importante applicazione è la pletismografia basata sull'uso di estensimetri. Il metodo consiste nel circondare l'arto in esame con un fascia elastica dotata di estensimetri e di registrare la variazione relativa di resistenza. Attraverso il fattore di gauge si può risalire alla variazione di lunghezza e di conseguenza alla variazione di volume. Sebbene qualche controversia sull'affidabilità di questa metodologia, studi comparativi con sistemi tradizionali ne hanno decretato l'efficacia. Sono utilizzati anche nella realizzazione di “piattaforme di forza” per lo studio della cinematica e dinamica articolari nell'analisi della camminata (gait analysis)

Misure di pressione

▪ Ponte estensimetrico

- Gli estensimetri a semiconduttore, per le ridotte dimensioni geometriche e per l'elevato GF, che può arrivare fino a 200, si prestano particolarmente per la realizzazione di sensori di pressione a membrana deformabile. In questo sensore la pressione da misurare agisce su di una membrana di materiale idoneo (silicio od altro) su cui sono stati ricavati, con le usuali tecniche di drogaggio selettivo, gli estensimetri e gli eventuali circuiti elettronici per il trattamento dell'informazione. La deformazione del substrato provoca la variazione della resistenza degli estensimetri e quindi la nascita di una tensione di squilibrio.



Misure di pressione

- Si deve però segnalare il pericolo che il fluido sotto misura possa contenere elementi chimici in grado di reagire con il materiale che compone la membrana modificando la risposta del sensore. Per questo motivo si continuano a costruire anche sensori in cui la membrana elastica è costituita da metalli inattaccabili su cui vengono montati degli estensimetri classici a deposito metallico su film. Il vantaggio principale degli estensimetri a semiconduttore e quello che sullo stesso chip possono essere integrati sia l'elemento sensibile, sia un circuito elettronico in grado di effettuare operazioni quali la linearizzazione o la compensazione in temperatura migliorando sensibilmente le prestazioni metrologiche del sistema.