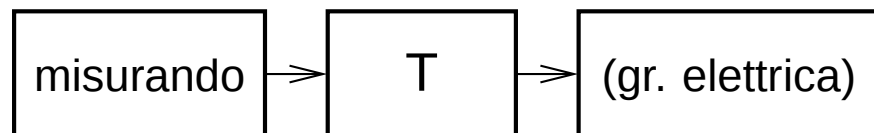


Trasduttori

Trasduttore:

- converte una grandezza fisica (misurando) in un'altra (più facilmente misurabile, generalmente elettrica).



- funzionamento basato su un determinato fenomeno fisico (o su più fenomeni fisici).
- Esempi:
 - microfono piezoelettico (eff. piezoelettico)
 - termocoppia (eff. termoelettico)
 - termometro a mercurio (dilat. termica)

Trasduttori

Trasduttore:

- converte una forma di energia in un'altra
- classificazione:

PASSIVO

assorbe energia
dal misurando

ATTIVO

richiede sorgente esterna
di energia



minore eff. caricante

Trasduttori

Classificazione:

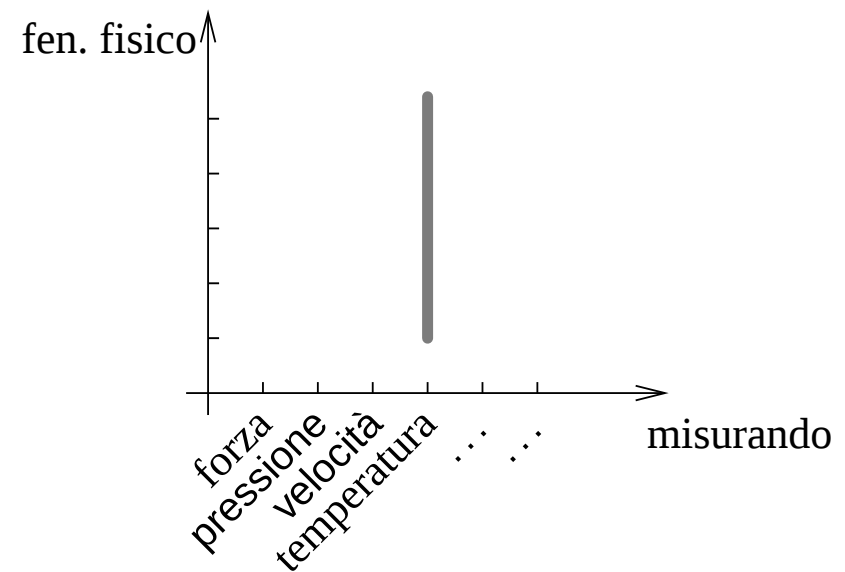
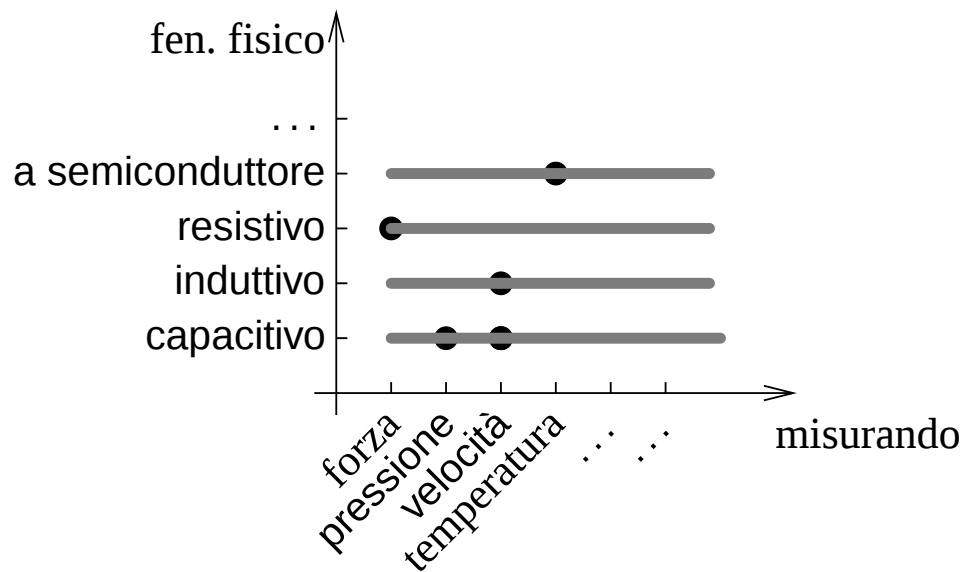
- **secondo il tipo di misurando:**
spostamento, posizione, velocità, accelerazione, rotazione, vibrazione, forza, pressione, sforzo, tensione (meccanica), umidità relativa, concentrazione (di ioni, gas, . . .), pH, campo magnetico, campo acustico, rugosità, temperatura, . . .
- **secondo il fenomeno fisico impiegato:**
capacitivi, induttivi, resistivi, piezoelettrici, eff. Hall, piezoresistivi, eff. termoelettrico, eff. tunnel, eff. fotoelettrico, eff. Doppler, eff. fotovoltaico, eff. fotoresistivo, . . .

Trasduttori - Caratteristiche

- Sensibilità
- Range
- Proprietà fisiche: tensione di alimentazione, temperatura di funzionamento . . .
- Effetto caricante
- Distorsione: è lineare o no? e quanto?
- Risposta in frequenza (funzionamento dinamico)
- Impedenza d'uscita
- Potenza richiesta
- Rumore
- Accuratezza

Trasduttori - Caratteristiche (2)

- Necessità e frequenza di calibrazione
- Condizioni ambientali (polverosità, radiazioni ...)
- Caratteristiche esteriori (forma, dimensioni, durata, robustezza ...)
- ...



Trasduttori resistivi

Resistenza di un conduttore cilindrico:

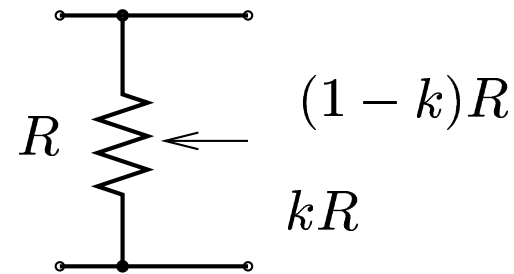
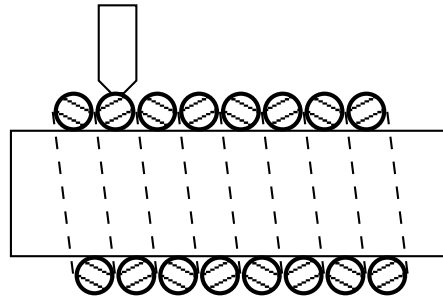
$$R = \rho \frac{l}{S}$$

$$\Delta l, \Delta S, \Delta \rho \rightarrow \Delta R$$

Applicazioni: spostamento, sforzi meccanici, pressione, forza, carico, temperatura, velocità di fluidi, ...

Trasduttori potenziometrici

Filo avvolto su supporto isolante, lineare (cilindro) o toroidale, o plastiche conduttive.

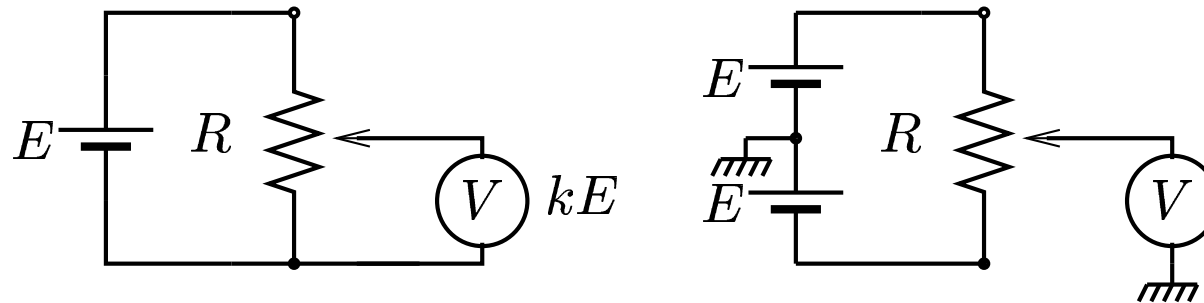


Caratteristica spostamento-resistenza solo idealmente lineare ($n.l. < 0.1\%$), migliore per materiali plastici.

Risoluzione dipendente dalle dimensioni del filo e del contatto.

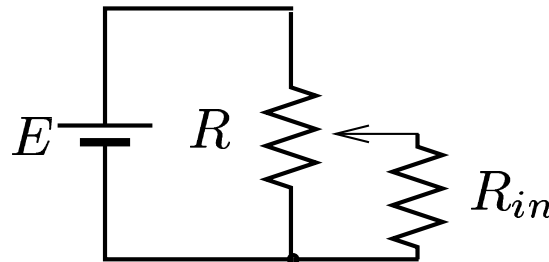
Trasduttori potenziometrici (2)

Impiego:



Sensibilità dipendente dalla tensione di alimentazione.

Effetto caricante:

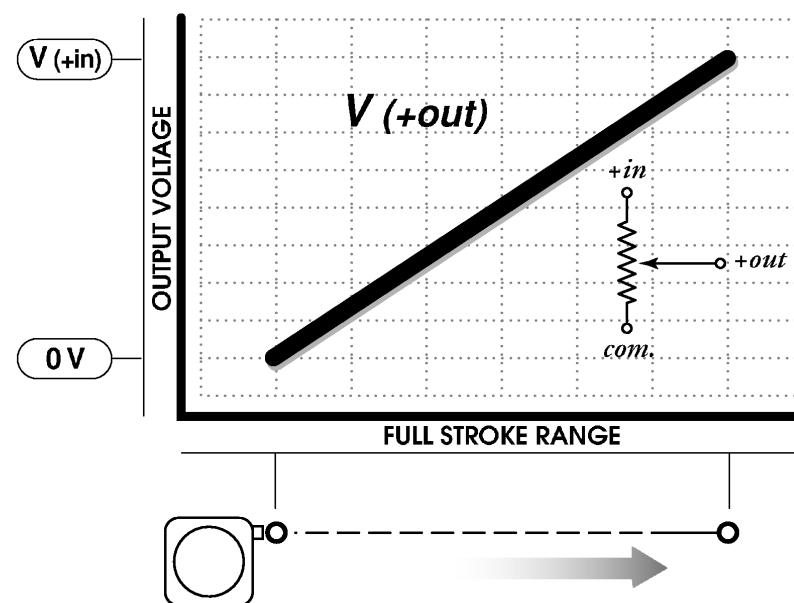


Trasduttori potenziometrici (3)

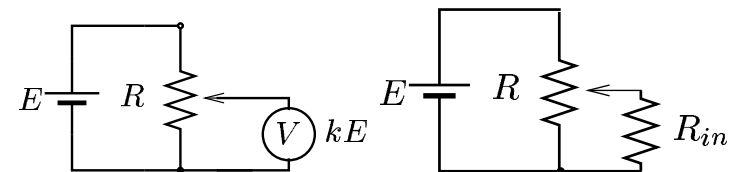
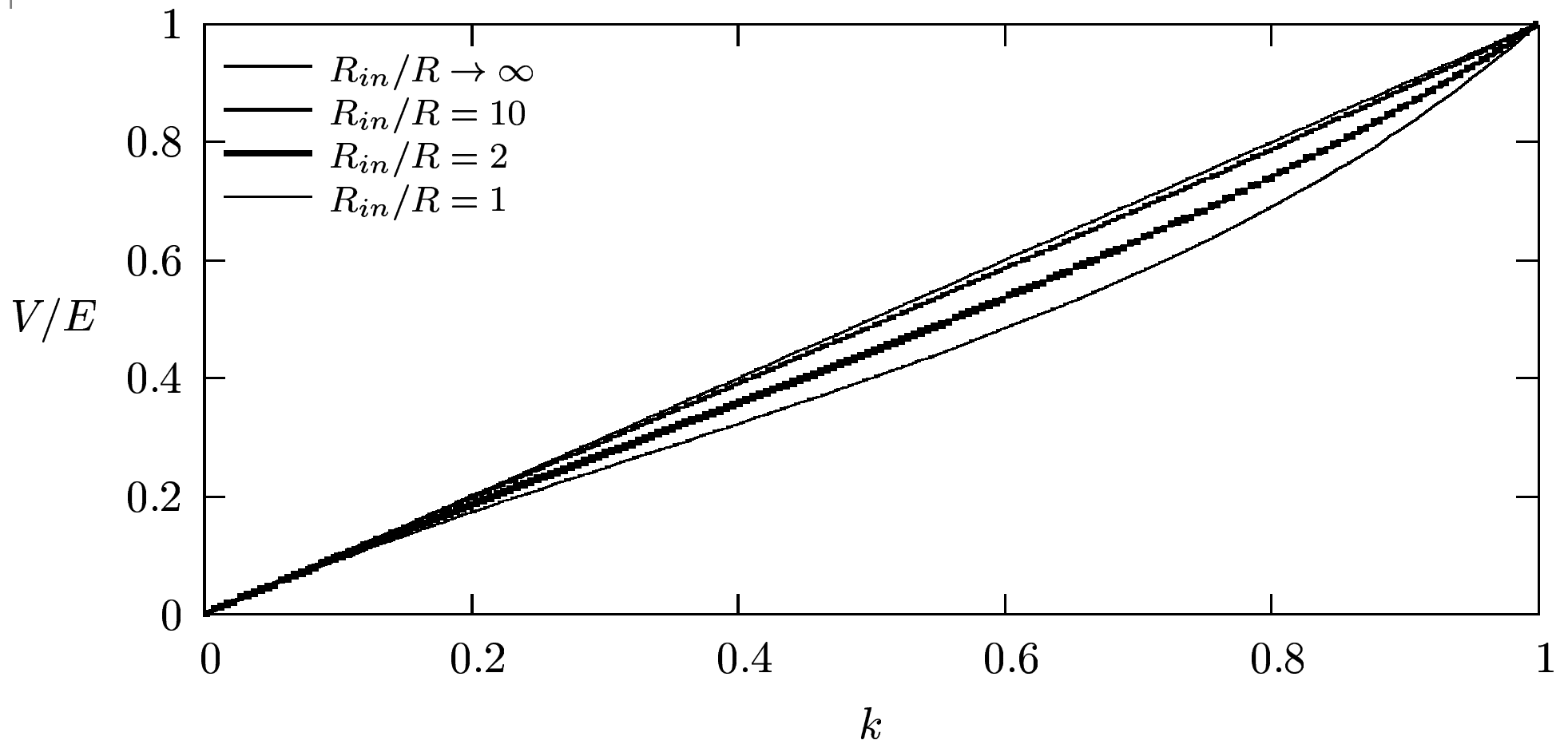
Generalmente rumorosi, sensibili alla polvere e all'invecchiamento (usura).

This transducer uses a high-cycle conductive plastic potentiometer to provide a precision voltage divider feedback signal for measurement ranges of 3 or 5 inches full stroke. With an accuracy of $\pm 0.15\%$ and a repeatability of $\pm 0.02\%$, the MTA conveniently mounts using servo-clips for easy rotational adjustment.

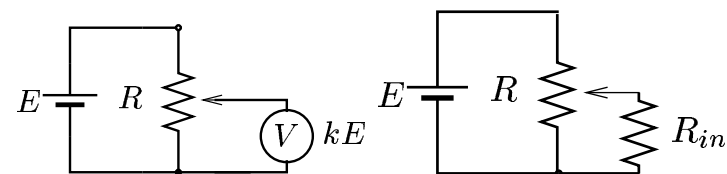
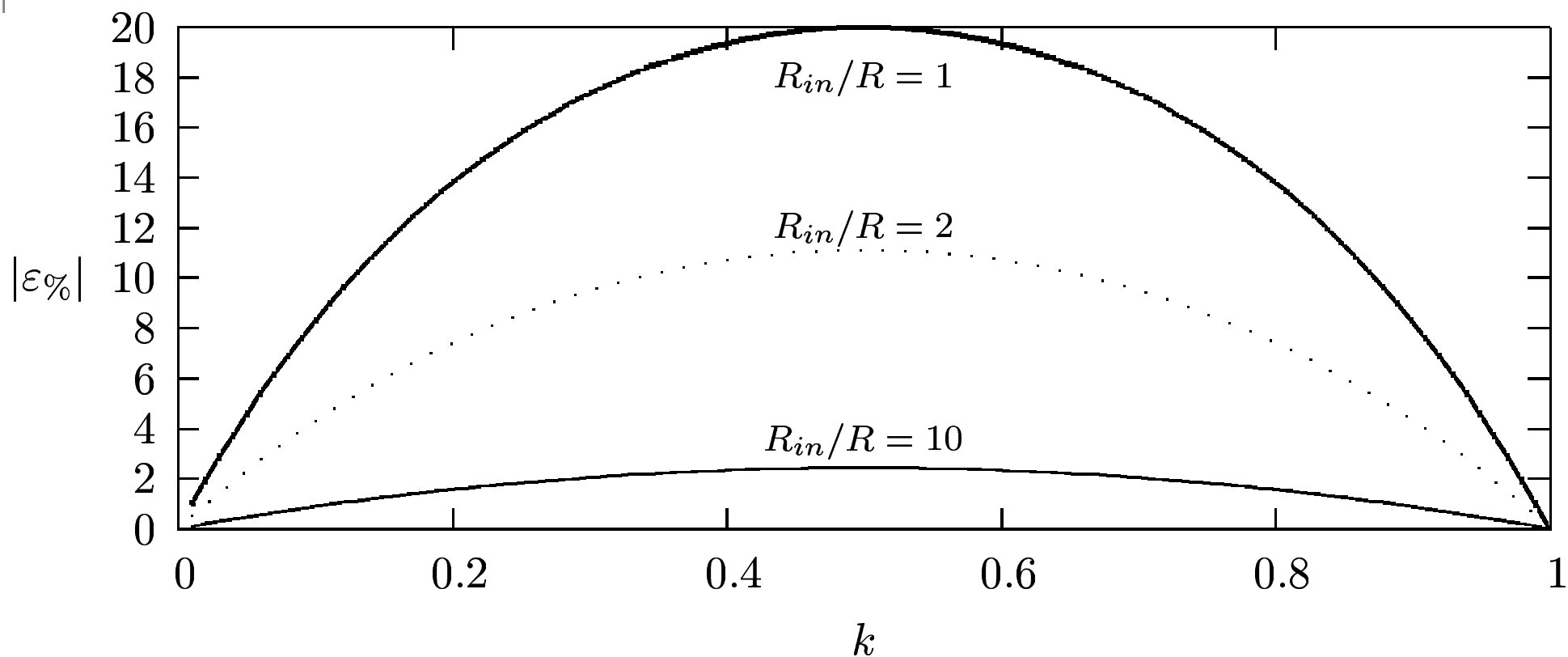
Electrical Output Signal:



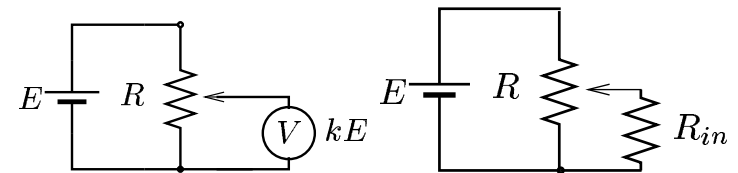
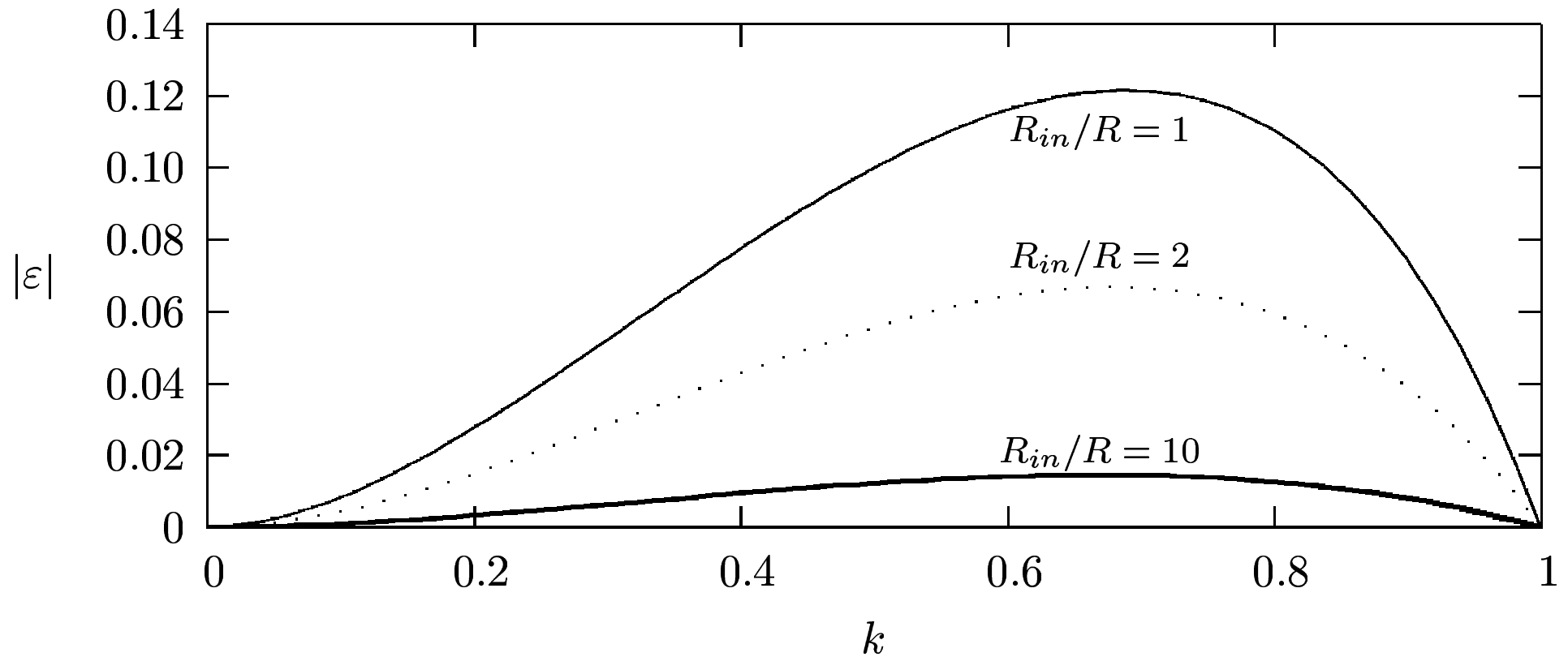
Trasduttori potenziometrici - Effetto caricante



Trasduttori potenziometrici - Effetto caricante

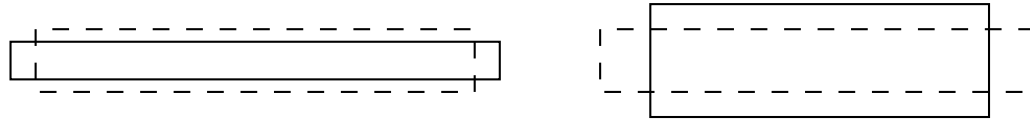


Trasduttori potenziometrici - Effetto caricante



Estensimetri (strain gauge)

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



Hp.:

- deformazione a volume costante
- ρ costante

$$V = lS = \pi l \frac{d^2}{4}, \quad \Delta V = \frac{\pi}{4} (d^2 \Delta l + 2ld \Delta d) = 0 \Rightarrow \frac{\Delta l}{l} = -2 \frac{\Delta d}{d}$$

$$\text{mod. di Poisson : } \nu = \left| \frac{\Delta d/d}{\Delta l/l} \right| \quad (= 0.5)$$

Estensimetri (2)

$$R = \frac{4\rho}{\pi} \frac{l}{d^2}, \quad \Delta R = 4 \frac{\rho}{\pi} \left(\frac{\Delta l}{d^2} - \frac{2l\Delta d}{d^3} \right)$$

$$\Delta R = 4 \frac{\rho}{\pi d^2} \left(\Delta l - \frac{2l\Delta d}{d} \right) = 2 \frac{R}{l} \Delta l$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta R}{R} = 2 \frac{\Delta l}{l} = 2\varepsilon_l, \quad \varepsilon_l = \frac{\Delta l}{l}$$

più in generale (ρ non costante, $\Delta V \neq 0 \dots$):

$$\frac{\Delta R}{R} = F \varepsilon_l, \quad \varepsilon_l = \frac{\Delta l}{l} \quad (\mu\text{strain})$$

F : costante di cella (gauge factor)

Estensimetri - Fattore di cella

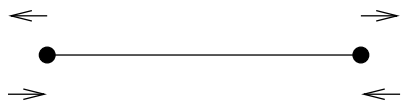
$$F \simeq \begin{cases} 2 & (\text{metalli}) \\ 20 \div 200 & (\text{semiconduttori}) \end{cases}$$

materiale	F	ν
Costantana (Cu ₅₅ Ni ₄₅)	2.05	
Ni-Cr	2.0	
Pt-W	4.5	
Pt	6.1	0.39
Al		0.32
Acciaio Inox		0.25-0.29
Ti		0.34

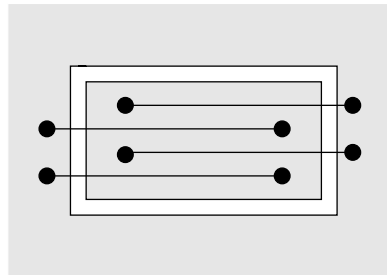
Estensimetri - caratteristiche fisiche

materiali, forma, dimensioni, valori

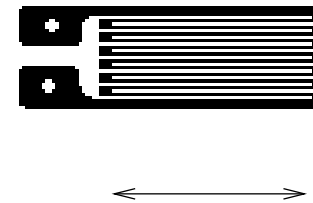
- bonded/unbonded metal wire/foil, deposited thin metal, diffused semiconductor
- mono/bi/tri-direzionali, a spirale
- 120, 350, 500, 1000 Ω
- l da $\simeq 0.5$ mm in su



(a)



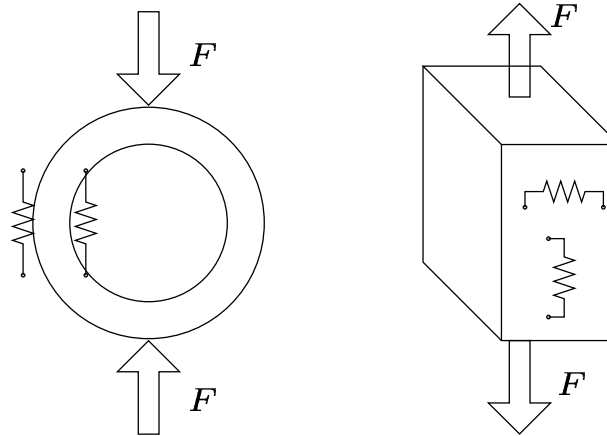
(b)



(c)

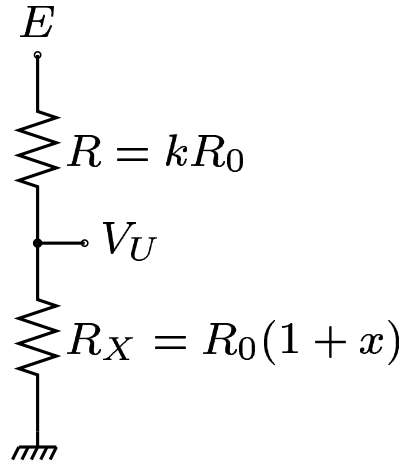
Estensimetri - applicazioni

misure di deformazione, forza, pressione, ...



- generalmente non riutilizzabili
- durata: $\simeq 10 \times 10^6$ cicli
- collante = fattore critico

Partitore resistivo (di misura)



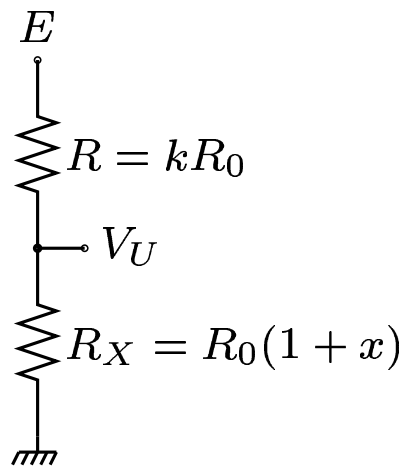
- misura delle variazioni di R_X rispetto al valore R_0
- per comodità $R = kR_0, k > 0$

$$V_U = E \frac{R_X}{R + R_X} = E \frac{R_0(1 + x)}{R + R_0(1 + x)} = E \frac{1 + x}{1 + k + x}$$

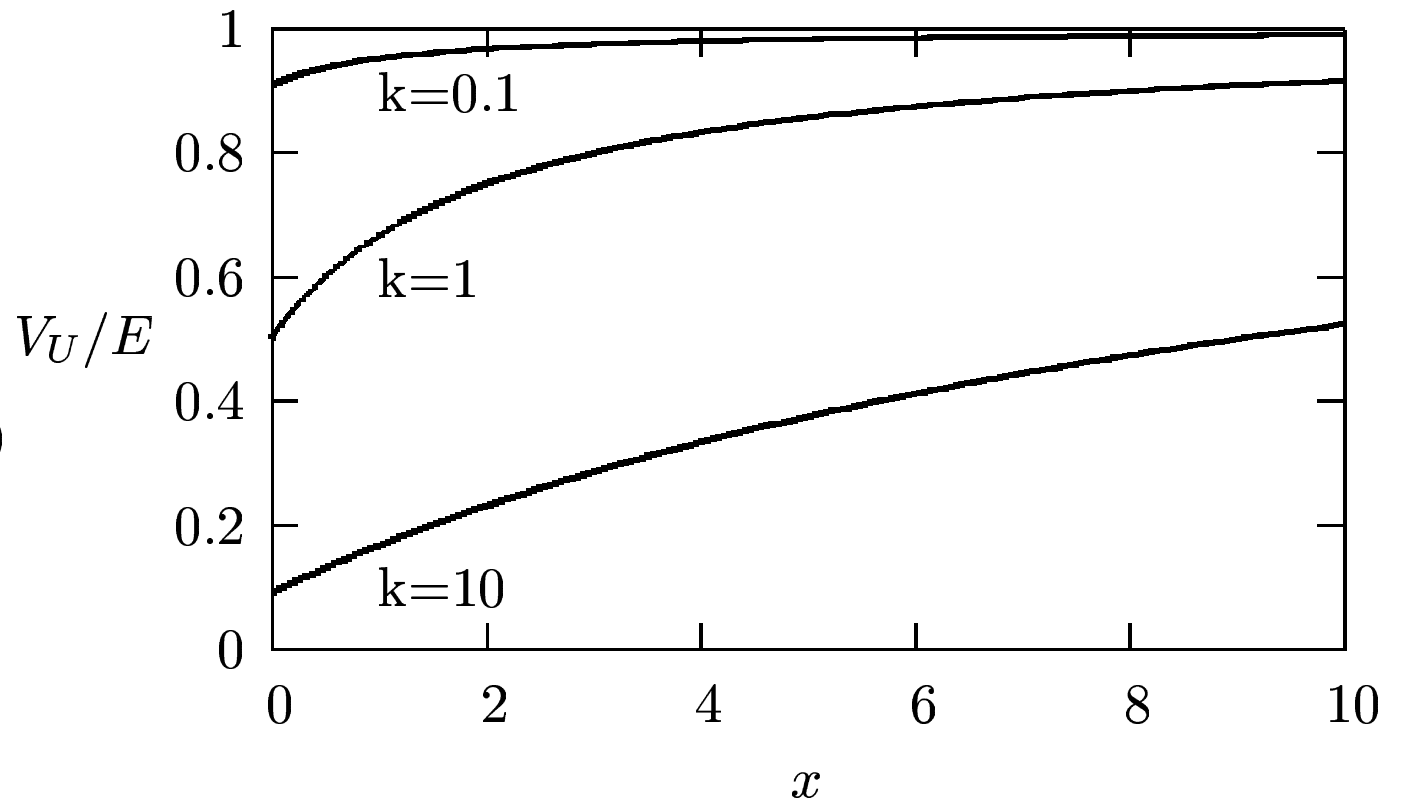
sensibilità:
$$S = \frac{dV_U}{dx} = E \frac{k}{(1 + x + k)^2}$$

max S :
$$\frac{dS}{dk} = E \frac{1 + 2x + x^2 - k^2}{(1 + x + k)^4} = 0 \quad \text{per } k = x + 1.$$

Partitore di misura

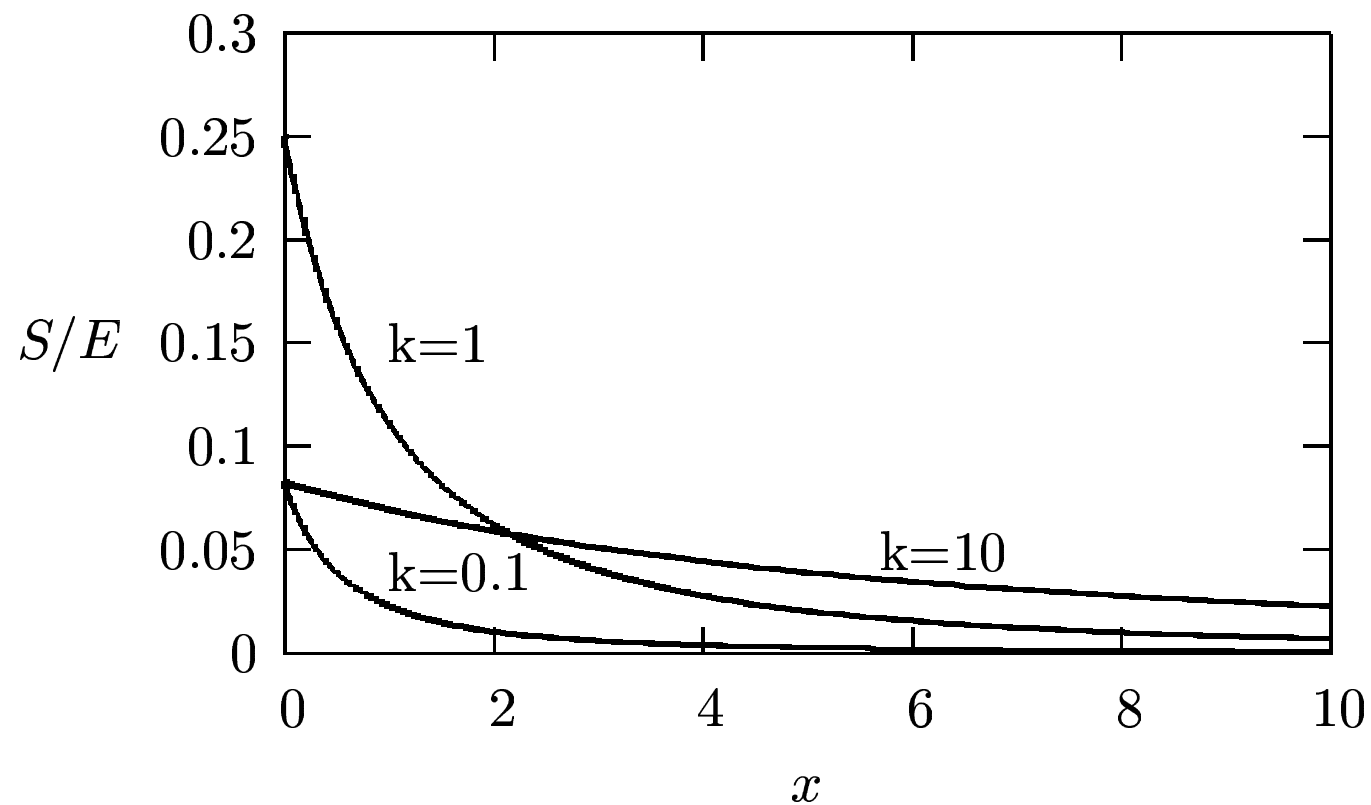
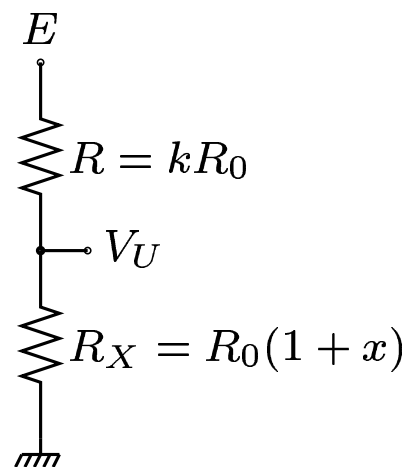


offset:



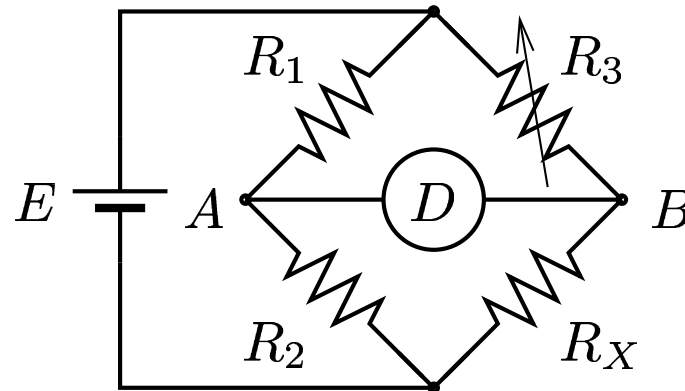
$$V_U = E \frac{R_X}{R + R_X} = E \frac{R_0(1 + x)}{R + R_0(1 + x)} = E \frac{1 + x}{1 + k + x}$$

Partitore di misura - sensibilità



$$S = \frac{dV_U}{dx} = E \frac{k}{(1 + x + k)^2}$$

Ponte di Wheatstone



ponte bilanciato:

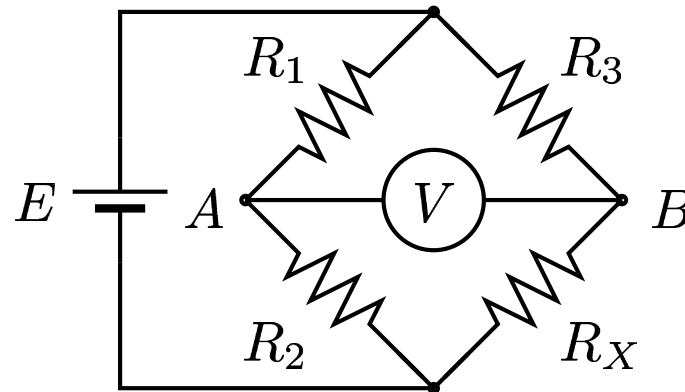
$$V_{AB} = 0 \rightarrow I_D = 0$$

$$\rightarrow R_1 R_X = R_2 R_3 \rightarrow R_X = R_2 R_3 / R_1$$

accuratezza dipendente

- dalla sensibilità del riv. di zero (D);
- dalla risoluzione di R_3 .

Ponte di Wheatstone



ponte non bilanciato, voltmetro a elevata resistenza:

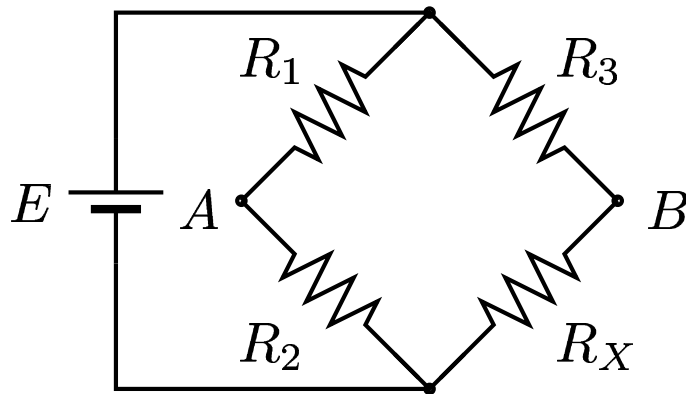
$$V_{AB} \neq 0 \quad \text{ma} \quad I_V = 0$$

$$V_{AB} = E \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} - \frac{R_X}{R_3 + R_X} \right)$$

accuratezza dipendente da quella del voltmetro (V_{AB}).

(anche con $I_V \neq 0$, nota la res. interna del voltmetro)

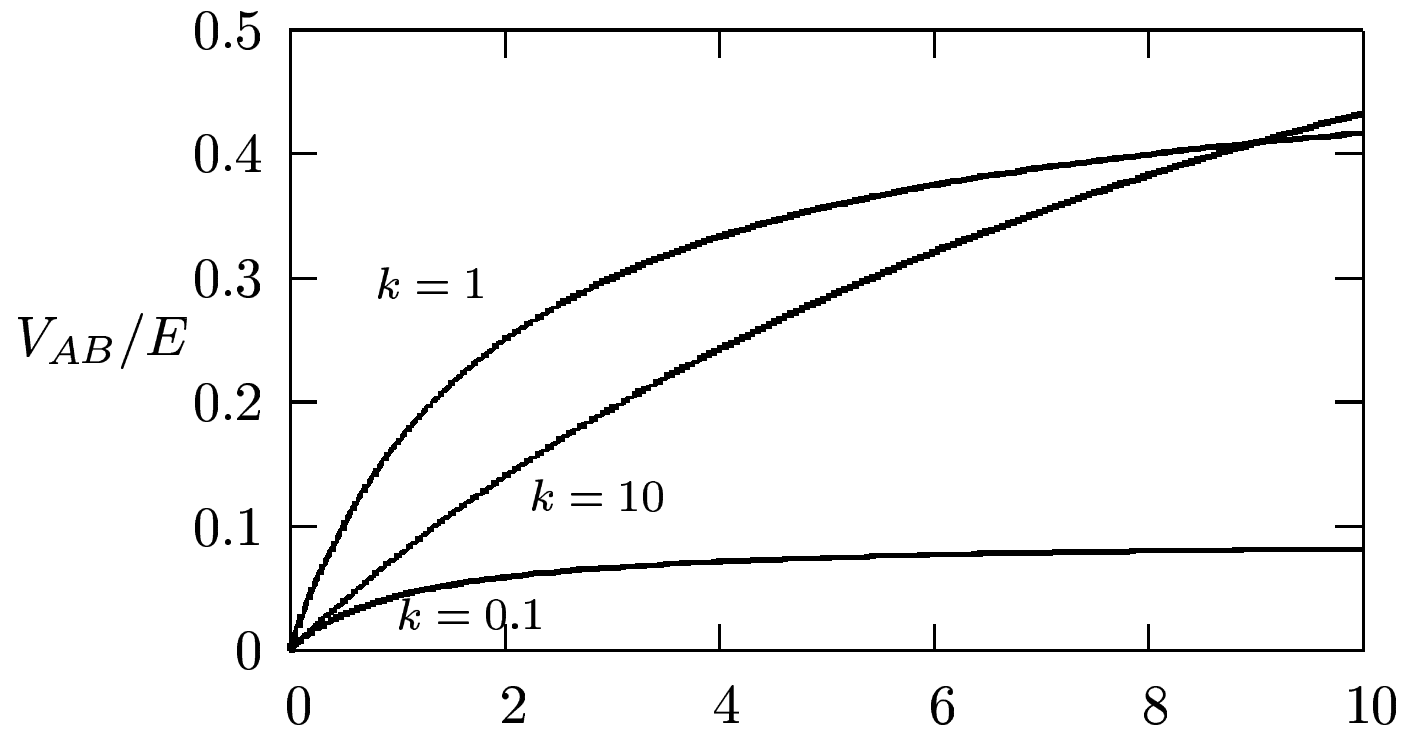
Ponte di Wheatstone



- necessità di misurare variazioni di $R_X = R_0(1 + x)$
- funzionamento in prossimità del bilanciamento:
 $k = R_1/R_2 = R_3/R_0$

$$\begin{aligned} V_{AB} &= E \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} - \frac{R_X}{R_3 + R_X} \right) = \\ &= E \left(\frac{R_2}{kR_2 + R_2} - \frac{R_0(1 + x)}{kR_0 + R_0(1 + x)} \right) \\ &= E \left[\frac{1}{k + 1} - \frac{(1 + x)}{k + 1 + x} \right] = E \frac{kx}{(1 + k)(1 + k + x)} \end{aligned}$$

Ponte di Wheatstone



$$V_{AB} = E \left[\frac{1}{k+1} - \frac{(1+x)}{k+1+x} \right] = E \frac{kx}{(1+k)(1+k+x)}$$

Ponte di Wheatstone

Sensibilità: $(V_U \Leftrightarrow V_{AB})$

$$\frac{dV_U}{dx} = E \frac{d}{dx} \left[\frac{kx}{(1+k)(1+k+x)} \right] = E \frac{k}{(1+k+x)^2}$$

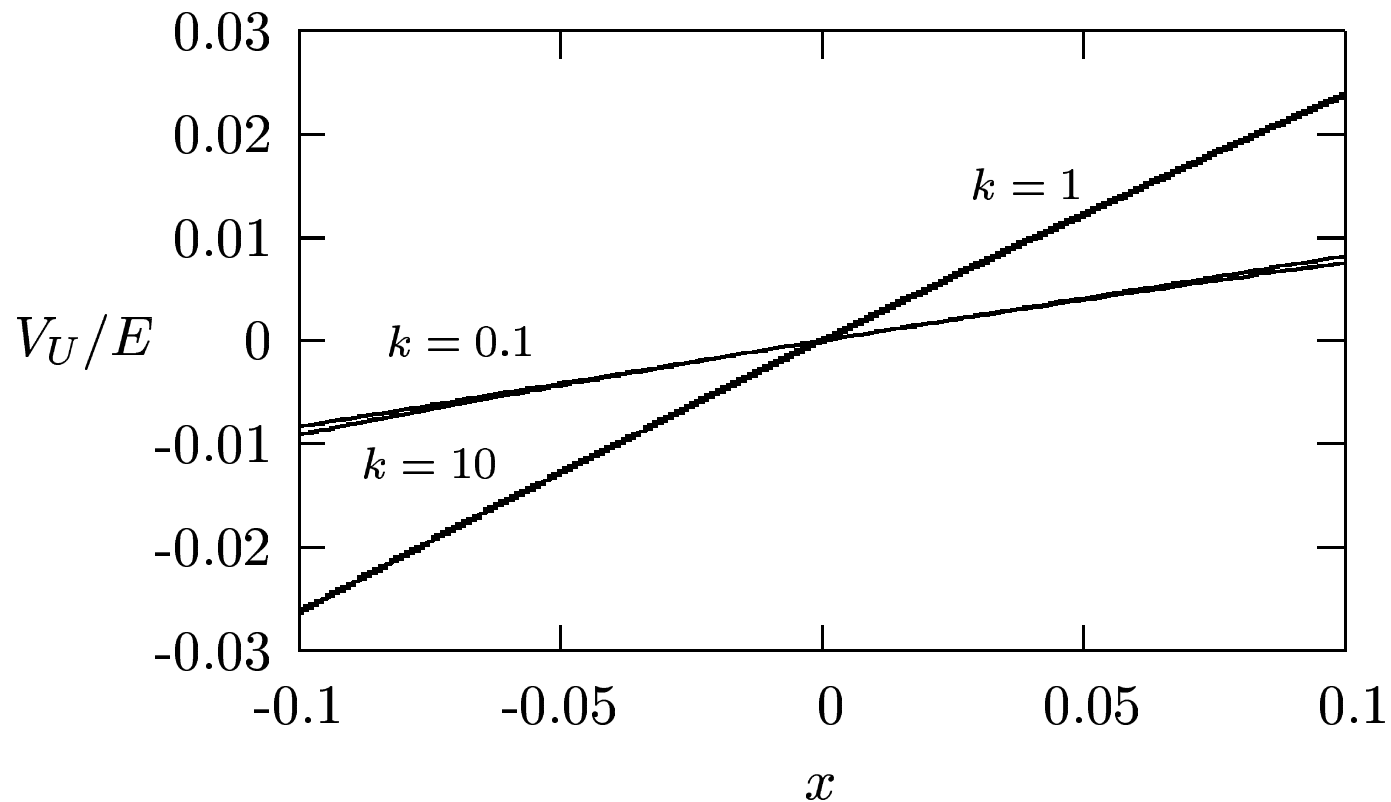
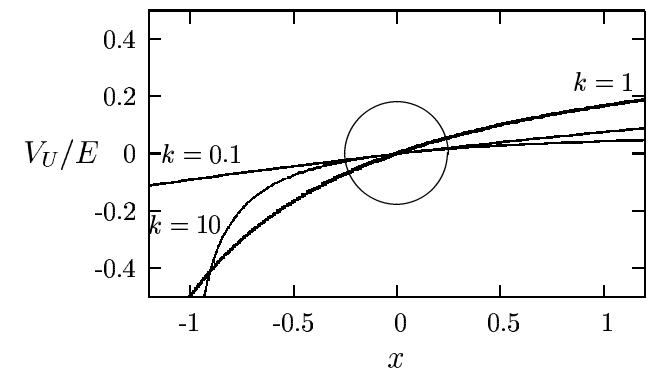
come nel partitore!

Il vantaggio: la rimozione dell'offset

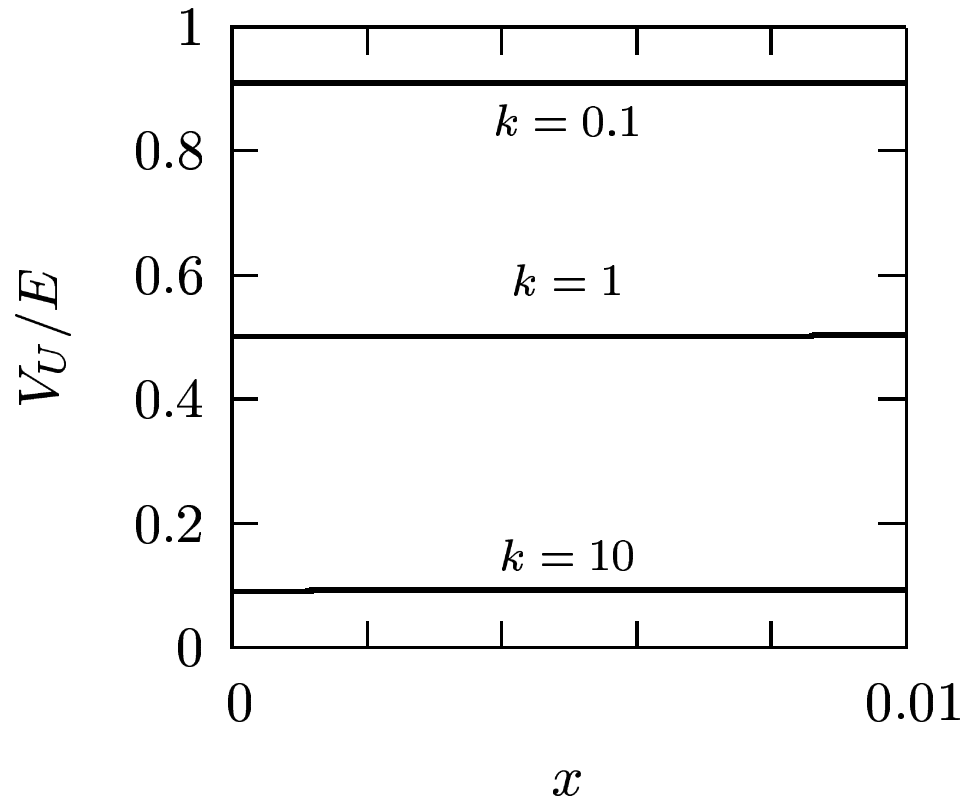
Ponte di Wheatstone

risposta non lineare, non simmetrica ...

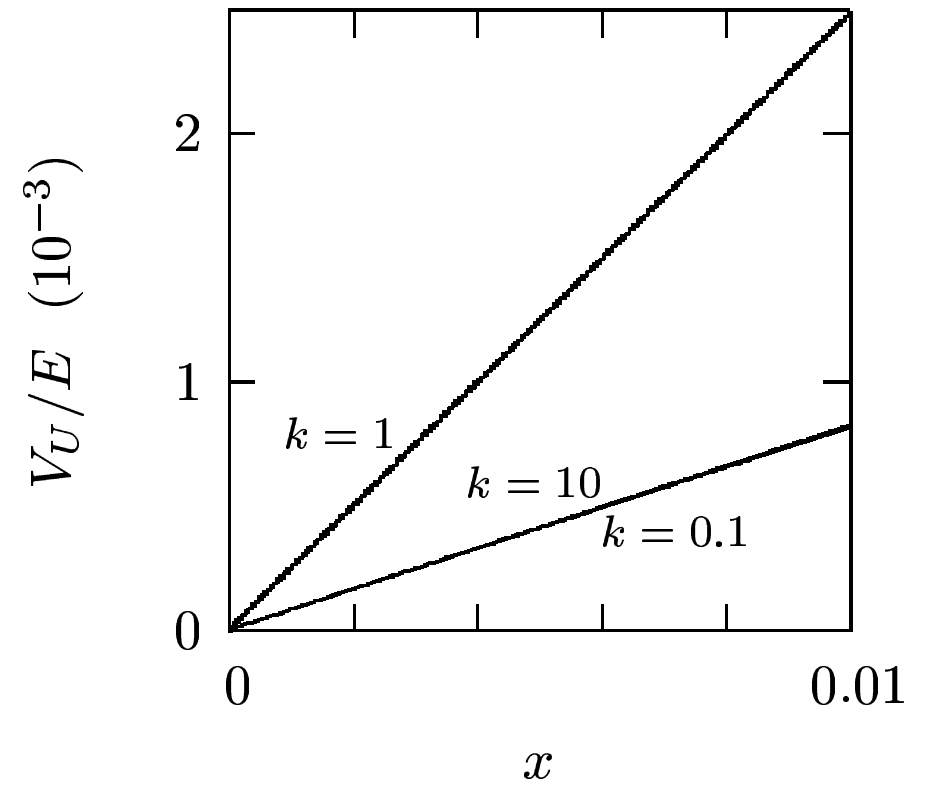
... ma “ben linearizzabile” per piccoli $|x|$



Partitore vs. Ponte

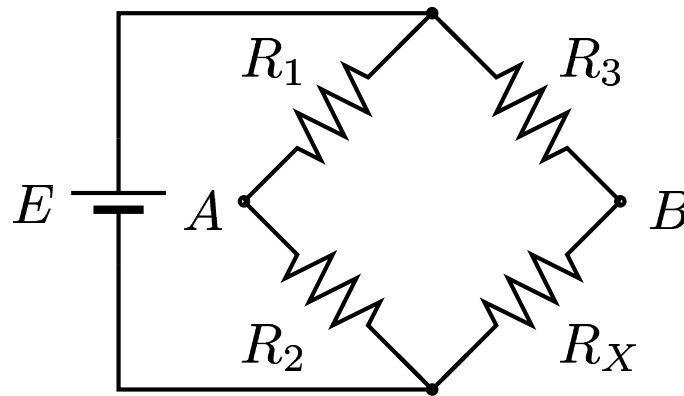


partitore



ponte

Misure con Estensimetri



(quarter bridge)

$$V_{AB} = E \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} - \frac{R_X + \Delta R_X}{R_X + \Delta R_X + R_3} \right) \quad (33)$$

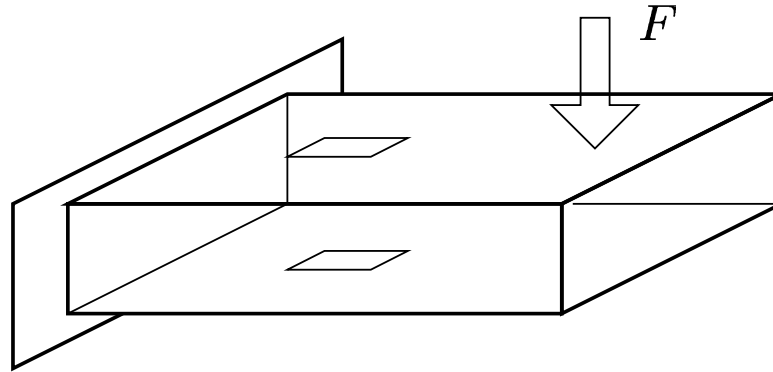
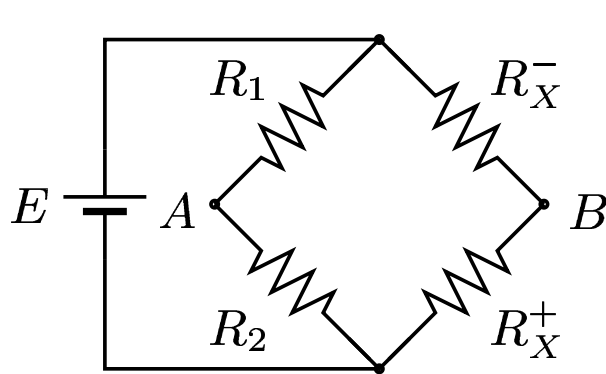
$k = 1 :$

$$\frac{V_{AB}}{E} = \left(\frac{R_X}{R_3 + R_X} - \frac{R_X + \Delta R_X}{R_X + \Delta R_X + R_3} \right) = \dots$$

Estensimetri

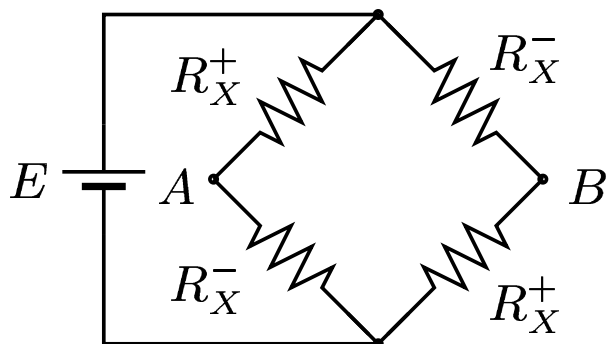
$$\begin{aligned} \dots \frac{V_{BA}}{E} &= \frac{\frac{\Delta R_X}{R_X} \frac{R_3}{R_X}}{\left(1 + \frac{R_3}{R_X}\right) \left(1 + \frac{\Delta R_X}{R_X} + \frac{R_3}{R_X}\right)} \\ &= \frac{\frac{\Delta R_X}{R_X}}{2 \left(2 + \frac{\Delta R_X}{R_X}\right)} \quad (R_X = R_3) \\ &\simeq \frac{\frac{\Delta R_X}{R_X}}{4} = \frac{1}{4} F \varepsilon_l \quad (\Delta R_X \ll 2R_X) \end{aligned}$$

Estensimetri - half bridge



$$\begin{aligned} \frac{V_{BA}}{E} &= \left(\frac{R_X + \Delta R_X}{2R_X} - \frac{1}{2} \right) = \\ &= \frac{\Delta R_X}{2R_X} = \frac{1}{2} F \varepsilon_l \end{aligned}$$

Estensimetri - full bridge

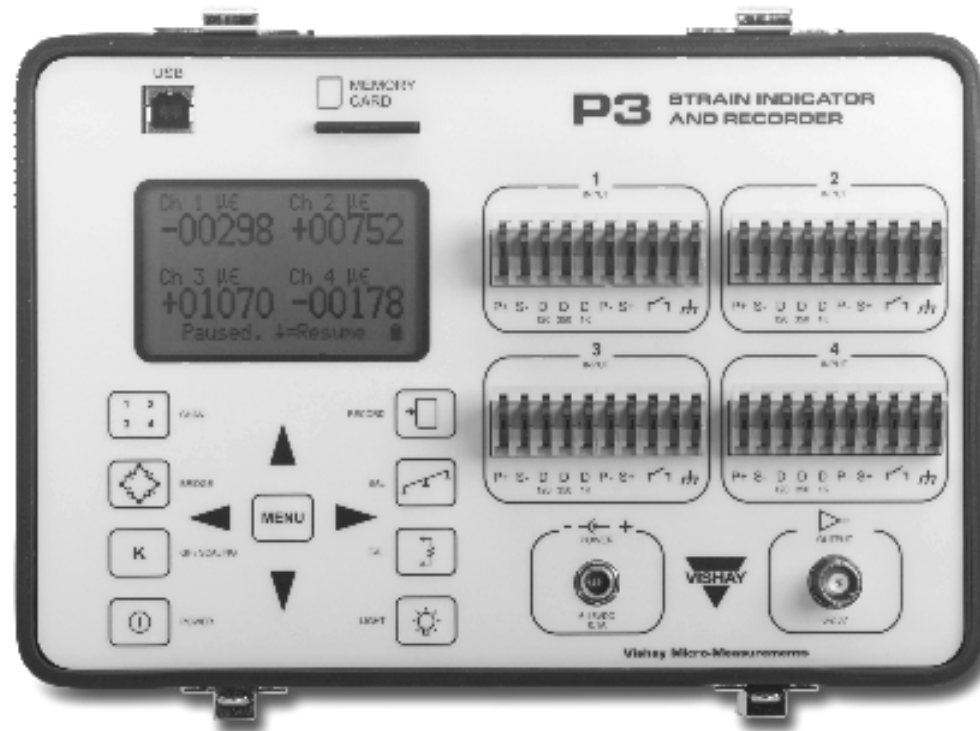


$$V_{BA} = \dots = \frac{\Delta R_X}{R_X} = F \varepsilon_l$$

conf.	n. celle	V_{BA}/E
quarter bridge	1	$\simeq \frac{1}{4} F \varepsilon_l$
half bridge	2	$= \frac{1}{2} F \varepsilon_l$
full bridge	4	$= F \varepsilon_l$

Estensimetri - A.S.I.

- necessità di amplificare la tensione di sbilanciamento (mV/V)
- Automatic Strain Indicator (A.S.I.)



dal sito <http://www.vishay.com>

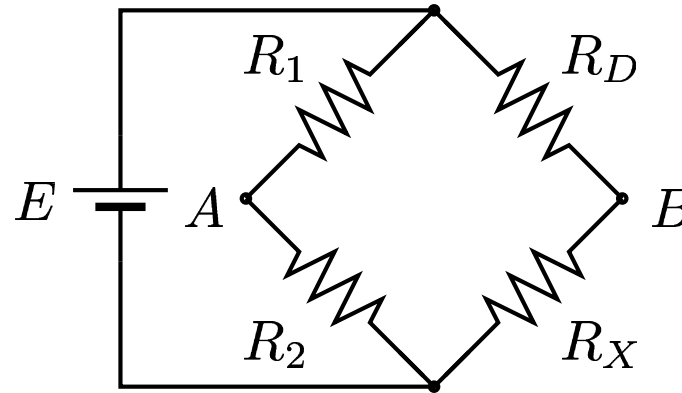
Strain Indicator

- Four input channels
- Direct reading LCD display
- On-board data storage
- 0 to 2.5 Vdc analog output
- Quarter, half and full bridge circuits
- Built-in bridge completion
- 120, 350 and 1000-ohm dummy gages
- Automatic zero-balancing and calibration
- Remote shunt calibration of transducers
- Intuitive, menu-driven operations
- USB data link
- Portable, lightweight and rugged
- Battery, USB or line-voltage power

dal sito <http://www.vishay.com>

Estensimetri - Cause di errore (1)

- variazioni di temperatura: $R \xrightarrow{\Delta T} R' = R(1 + h)$
- *dummy cell* ($R_D = R_X$)

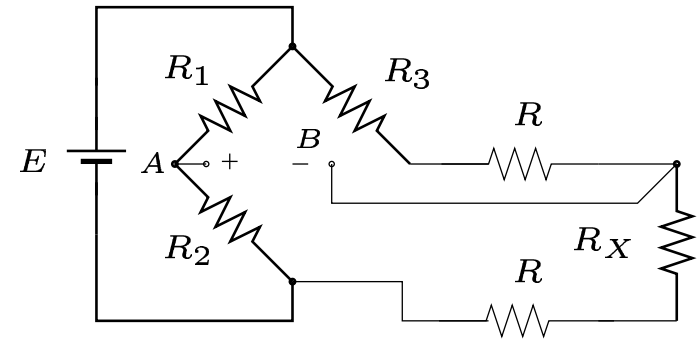
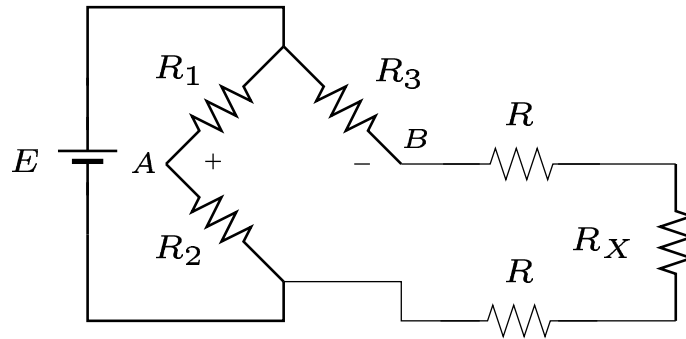


$$\Delta T : \frac{V_{BA}}{E} = \left(\frac{R'_X}{R'_X + R'_D} - \frac{1}{2} \right) = \left[\frac{R_X(1 + h)}{R_X(1 + h) + R_D(1 + h)} - \frac{1}{2} \right] = 0$$

$$\text{def. : } \frac{V_{BA}}{E} = \left(\frac{R_X + \Delta R_X}{R_X + \Delta R_X + R_D} - \frac{1}{2} \right) \neq 0$$

Estensimetri - Cause di errore (2)

- autoriscaldamento ($E \simeq 2 \div 10 \text{ V}$, $I_{\max} \simeq 5 \div 40 \text{ mA}$)
 - pilotaggio impulsato
- lunghezza dei collegamenti
 - sbilanciamento con $\varepsilon = 0$
 - riduzione della sensibilità
 - variazioni di temperatura



- linearizzazione (1/4 bridge)