



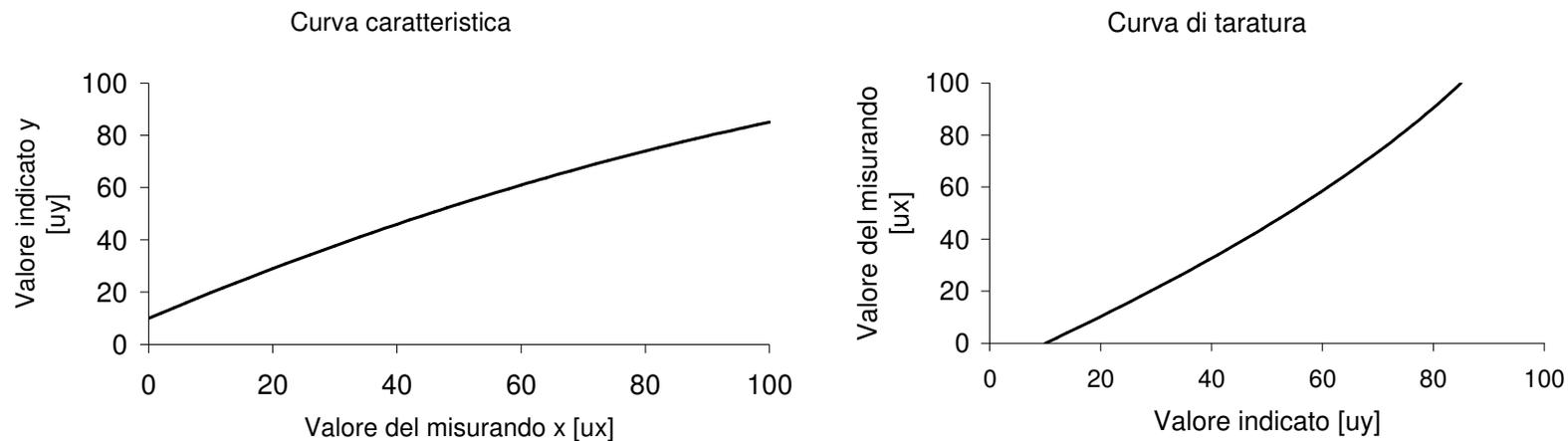
Università degli Studi di Genova  
Ingegneria Meccanica  
Misure e Strumentazione



# GRANDEZZE DI INFLUENZA

# Caratteristiche dei dispositivi di misura

La *curva di taratura* esprime la relazione media che esiste fra il *valore indicato* dallo strumento (*indication*), in ascisse e il misurando, in ordinate. Essa consente quindi di determinare, per ciascun valore rilevato, il corrispondente valore da assegnare al misurando (valore di misura, *measurement value*).



L'insieme dei valori in ascisse definiscono il *campo di lettura* (o, più in generale, di rivelazione), limitato dal valore di *fondo scala*; l'insieme dei valori in ordinate formano invece il *campo di misura*, limitato dalla *portata*.

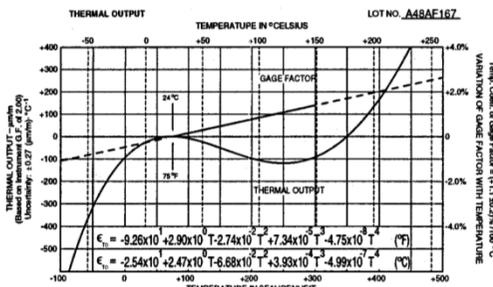
# Ulteriori caratteristiche

- **Ripetibilità:** attitudine dello strumento a fornire dati poco discosti fra loro, a breve termine, dello stesso misurando, nelle stesse condizioni di prova
- **Linearità:** è indicato lo scostamento massimo dalla linearità
- **Isteresi:** differenza di comportamento a seconda che il misurando vari per valori crescenti o decrescenti
- **Grandezze di influenza:** dovrebbe essere specificato:
  - **campo di variazione** delle g. d. i. entro cui è applicabile la curva di taratura con la relativa fascia di incertezza
  - **curve di compensazione** informazioni per la valutazione dell'incertezza legata alla grandezze di influenza
- **Carico strumentale:** informazioni necessarie per valutare l'effetto delle interazioni energetiche con il misurando o con altri elementi della catena di misura
- **Stabilità:** attitudine a mantenere invariate le proprie caratteristiche nel tempo (ha un significato diverso di quello che assume nella teoria dei controlli automatici)

# Esempio di data sheet di un sensore

<p><b>CEA-13-240UZ-120</b> Gage Type</p> <hr/> <p><b>120.0 ±0.3%</b> Resistance in ohms at 24°C</p> <hr/> <p><b>2.110 ±0.5%</b> Gage Factor at 24°C</p> <hr/> <p><b>(+0.6 ±0.2)%</b> K<sub>T</sub> at 24°C</p> <hr/> <p>Option</p> <hr/> <p><b>R-A48AF167</b> Lot Number</p> <hr/> <p><b>052219</b> Code</p>	 <b>MEME</b> Micro-Measurements Division <b>MEASUREMENTS                  GROUP, INC.</b>	<p><b>GENERAL INFORMATION                  SERIES CEA STRAIN GAGES</b></p> <p><b>GENERAL DESCRIPTION:</b> CEA-Series Student Gages are in a general-purpose family of constantan alloy strain gages widely used in experimental stress analysis. Extremely thin and flexible [0.0022 in (0.056 mm)], CEA-Series gages feature polyimide-encapsulated grids and exposed copper-coated integral solder tabs to which leadwires may be soldered directly. See Tech-Note TN-505 for assistance in gage selection.</p> <p><b>TEMPERATURE RANGE:</b> Normal use temperature range for static strain measurement is -100° to +350° F (-75° to +175°C). For special or short-term exposure, an expanded range of -320° to +400° F (-195° to +205°C) may be used.</p> <p><b>STRAIN LIMITS:</b> Approximately 5% for 0.240 in (6 mm) gage length and approximately 3% for 0.120 in (3 mm) and 0.060 in (1.5 mm) gage lengths for single cycle use. See Tech Tip TT-605 for high elongation measurements.</p> <p><b>FATIGUE LIFE:</b> Dependent on gage length and method of cycling; 10<sup>8</sup> cycles at ±1200µε, 10<sup>6</sup> cycles at ±1500µε. Derate 10% for nonzero mean strains of same absolute (peak-to-peak) values. See Tech Note TN-508 for additional data.</p> <p><b>CEMENTS:</b> M-Bond 200 is an excellent, general purpose adhesive for those learning to bond strain gages (see Instruction Bulletin B-127). M-Bond AE-10 may be used when a wider range of bonding properties is needed (see Instruction Bulletin B-137). Refer to Instruction Bulletin B-129 for proper surface preparation, and to Catalog A-110 for other bonding agents.</p> <p><b>SOLDER:</b> M-Line solder type 361 is recommended for leadwire attachment when operating temperatures do not exceed +300°F (+150°C). See Catalog A-110 for higher temperature solders.</p> <p><b>PROTECTIVE COATINGS:</b> Because they have fully encapsulated grids, CEA-Series Student Gages require no further protection under most laboratory conditions. When further protection is required, refer to Catalog A-110 for M-Coat protective coatings information.</p> <p><b>NOTE:</b> The backing of Student Gages has been specifically treated for optimum bond formation with all appropriate gage adhesives. No further cleaning is necessary if contamination of the prepared surface is avoided during handling. Should contamination occur, clean with a cotton swab slightly moistened with a low residue solvent such as isopropyl alcohol. Allow the gage to dry for several minutes before bonding.</p>
--	---	---

**SELF-TEMPERATURE COMPENSATION:** These gages have been manufactured with self-temperature compensation (STC) characteristics to minimize thermal output (see Tech Note TN-504). Thermal output data given below are valid only for the indicated test material, since thermal output is a function of the thermal expansion properties of the test specimen.

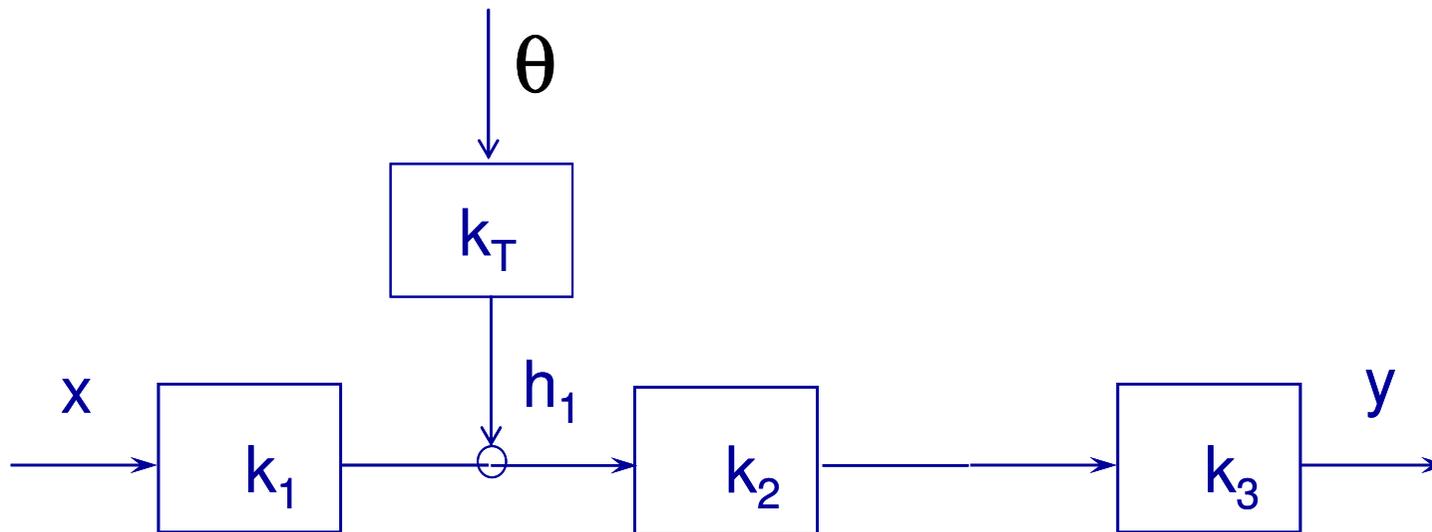


TESTED ON: 2024-T4 ALUMINUM    TEST PATTERN: N/A    CODE: 043620\_Eng\_JP

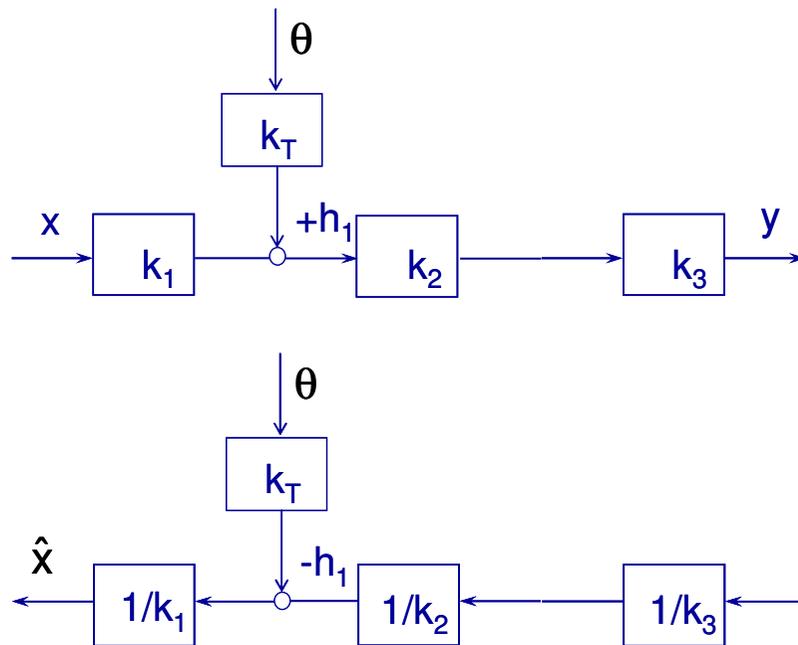
# Grandezze di influenza di tipo additivo

Grandezze di influenza:

- Additive: provocano un ingresso di disturbo che si somma all'uscita di un dispositivo
- Moltiplicative: provocano una variazione della sensibilità di un dispositivo

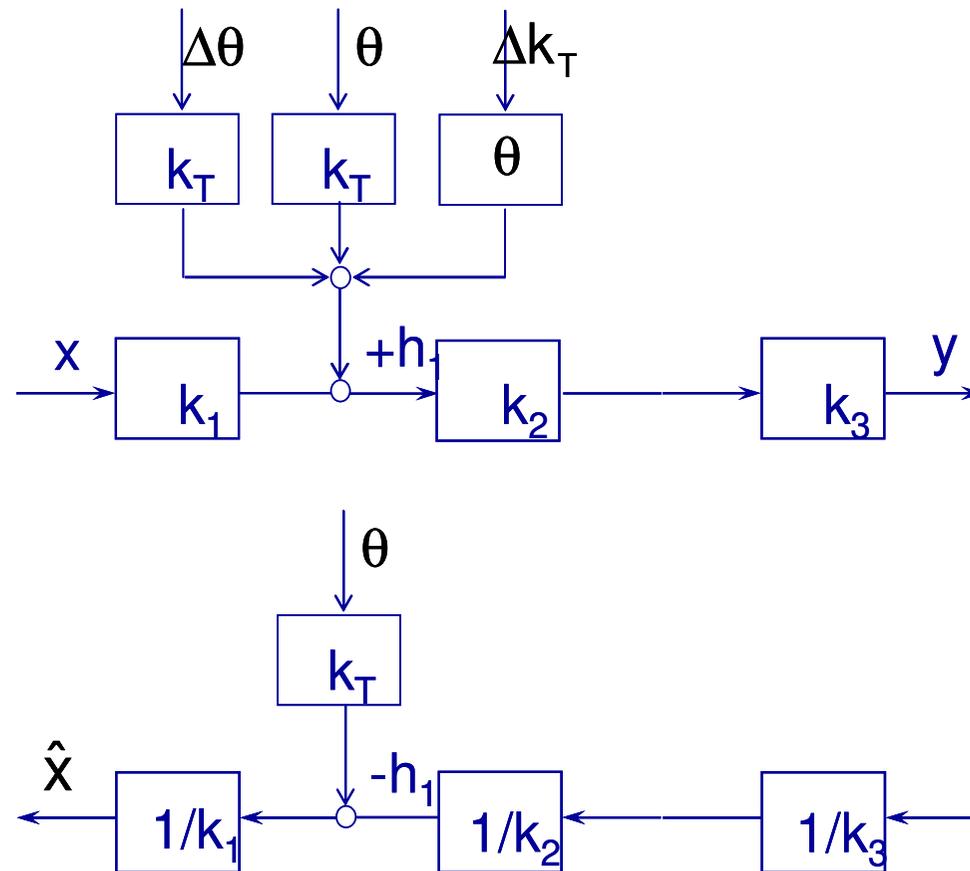


# Compensazione dell'effetto sistemático

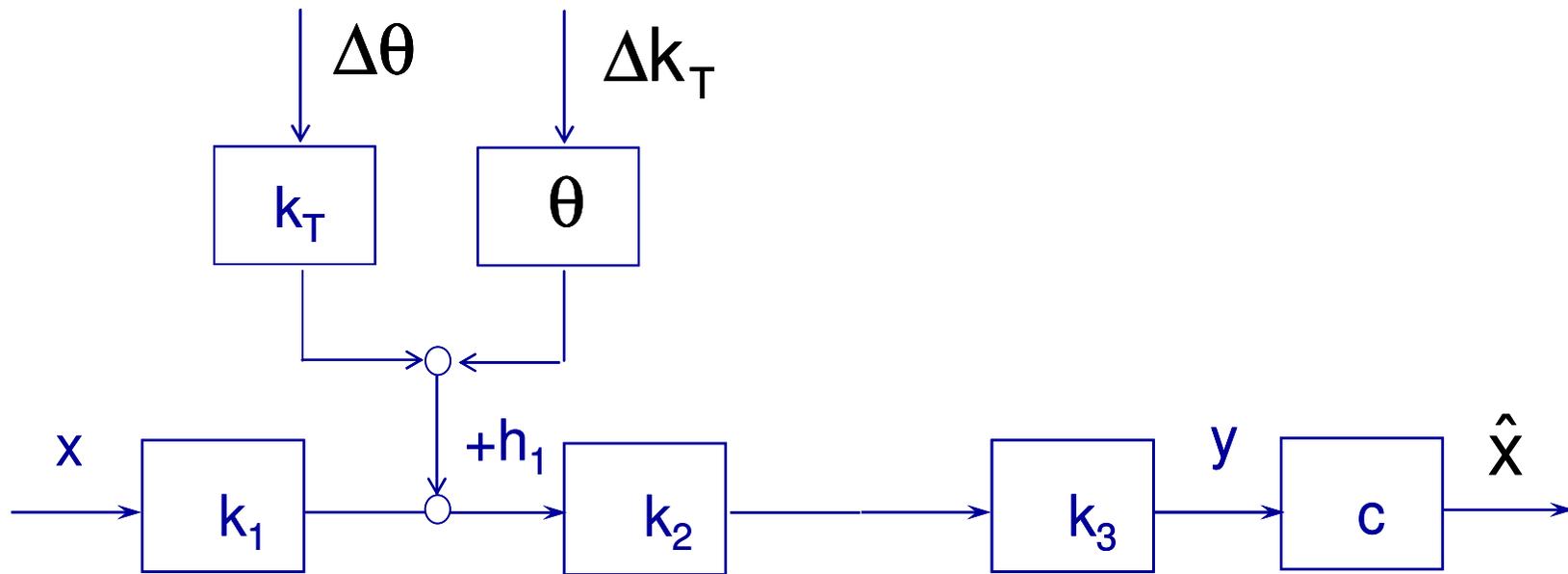


$$\hat{x} = cy - \frac{k_T}{k_1} \theta$$

# Incertezza residua



# Valutazione dell'incertezza residua



$$e_T = \frac{k_T}{k_1} \Delta\theta + \frac{\theta}{k_1} \Delta k_T \quad u_T = \sqrt{\left(\frac{k_T}{k_1} \sigma_\theta\right)^2 + \left(\frac{\theta}{k_1} \sigma_{k_T}\right)^2}$$

# Esempio: misure di forza

## SENSORE

Sensibilità  $20 \frac{\text{mV}}{\text{kN}} \pm 1,5\%$

Sensibilità termica  $1 \frac{\text{mV}}{^{\circ}\text{C}}$  temperatura di riferimento  $T_R = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$

## AMPLIFICATORE

Guadagno  $5 \pm 1\%$

Rumore in uscita avente valore rms pari a  $0,2 \text{ mV}$

## VOLTMETRO

Fondo scala  $1 \text{ V}$

### *Grandezze di Influenza*

Si supponga di effettuare 5 misure ripetute di forza, alla temperatura

$T = (31 \pm 2)^\circ\text{C}$  rilevando i seguenti valori di lettura espressi in mV:

289 279 293 297 285

Si richiede il risultato finale della misurazione, con valutazione della Incertezza standard ed estesa, a livello di copertura 0,95, Nell'ipotesi che le uniche sorgenti di incertezza siano quelle Documentate dalle caratteristiche metrologiche sopra riportate e dai risultati sperimentali ottenuti.

# Elaborazione delle indicazioni strumentali

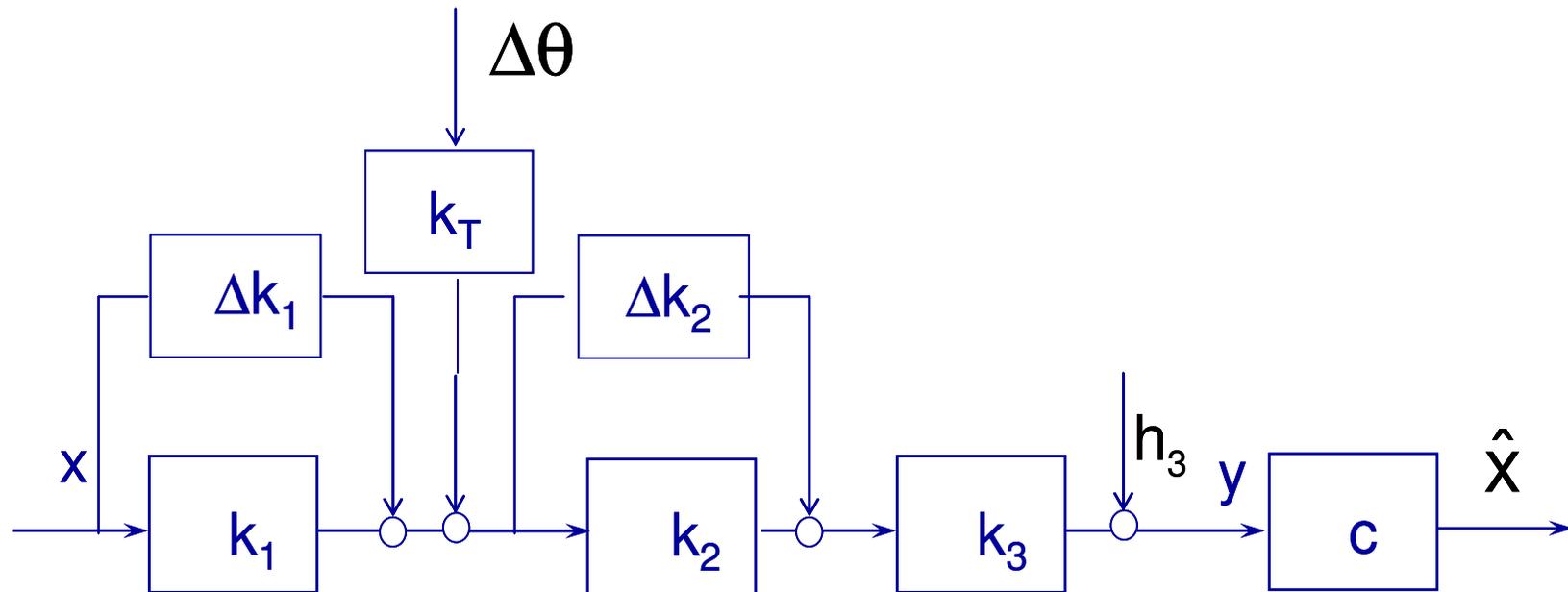
$$k = k_1 k_2 k_3 = 100 \frac{\text{mV}}{\text{kN}}$$

$$c = \frac{1}{k} = 0,01 \frac{\text{kN}}{\text{mV}}$$

$$\bar{y} = \frac{1}{N} \sum_1^5 y_i = 288,6 \text{ mV}; \sigma_h = 6,99 \text{ mV}$$

$$\hat{x} = c\bar{y} - \frac{k_T}{k_1} \theta = 2,336 \text{ kN}$$

# Schema a blocchi



# Calcoli e risultato finale

i	Grandezza di ingresso	Incertezza tipo	Unità di misura	Sensibilità	Unità di misura	Incertezza riferita al misurando	Gradi di libertà
1	Sensibilità sensore	$\sigma_{\Delta k_1} = \frac{0,015 \times 20}{\sqrt{3}}$ = 0,173	$\frac{mV}{kN}$	$\frac{\hat{x}}{k_1} = 0,117$	$\frac{kN}{mV/kN}$	0,020	$\infty$
2	Guadagno amplificatore	$\sigma_{\Delta k_2} = \frac{0,01 \times 5}{\sqrt{3}}$ = 0,0289		$\frac{\hat{x}}{k_2} = 0,467$	kN	0,0135	$\infty$
3	Effetto della temperatura	$\sigma_{\theta} = \frac{2}{\sqrt{3}}$ = 1,15	°C	$\frac{k_T}{k_1} = 0,05$	$\frac{kN}{°C}$	0,0577	$\infty$
4	Variabilità mediata	$\frac{\hat{\sigma}_h}{\sqrt{N}} = \frac{6,99}{\sqrt{5}}$ = 3,126	mV	c = 0,01	$\frac{kN}{mV}$	0,0313	4
						u = 0,0699	100
						U = 0,14	

$x = 2,34 \text{ kN}$  con incertezza tipo  $u=0,07 \text{ kN}$

$x = (2,34 \pm 0,14) \text{ kN}$  con livello di copertura 0,95

# Grandezze di influenza di tipo moltiplicativo

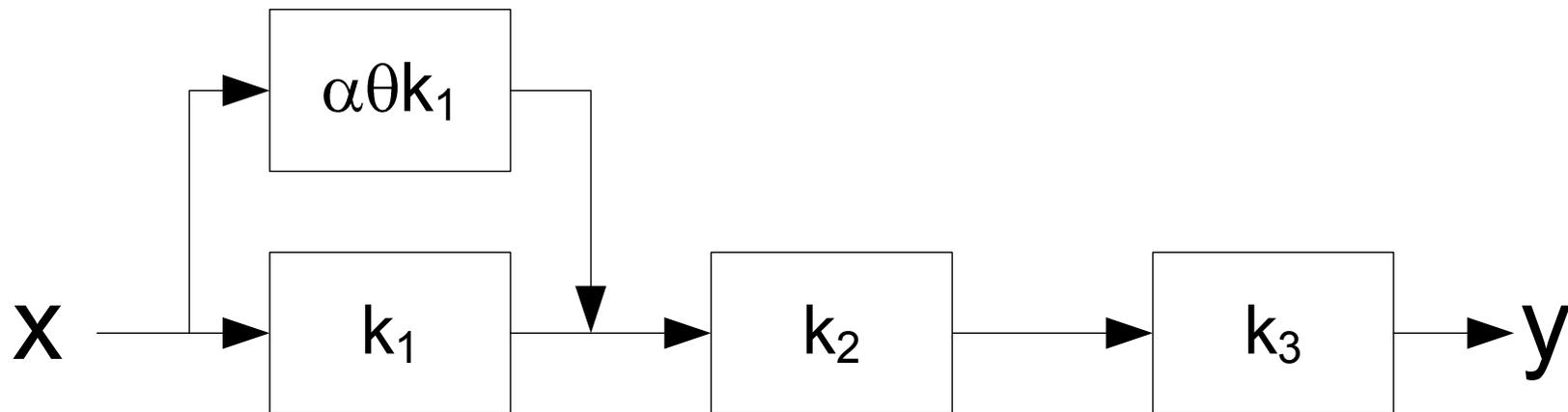
- La grandezza di influenza può provocare una variazione di sensibilità di un dispositivo, dunque un effetto moltiplicativo
- L'effetto è quantificato tramite un “coefficiente di influenza”, ad esempio, per gli effetti termici

$$\alpha = \frac{\Delta k/k}{\theta}$$

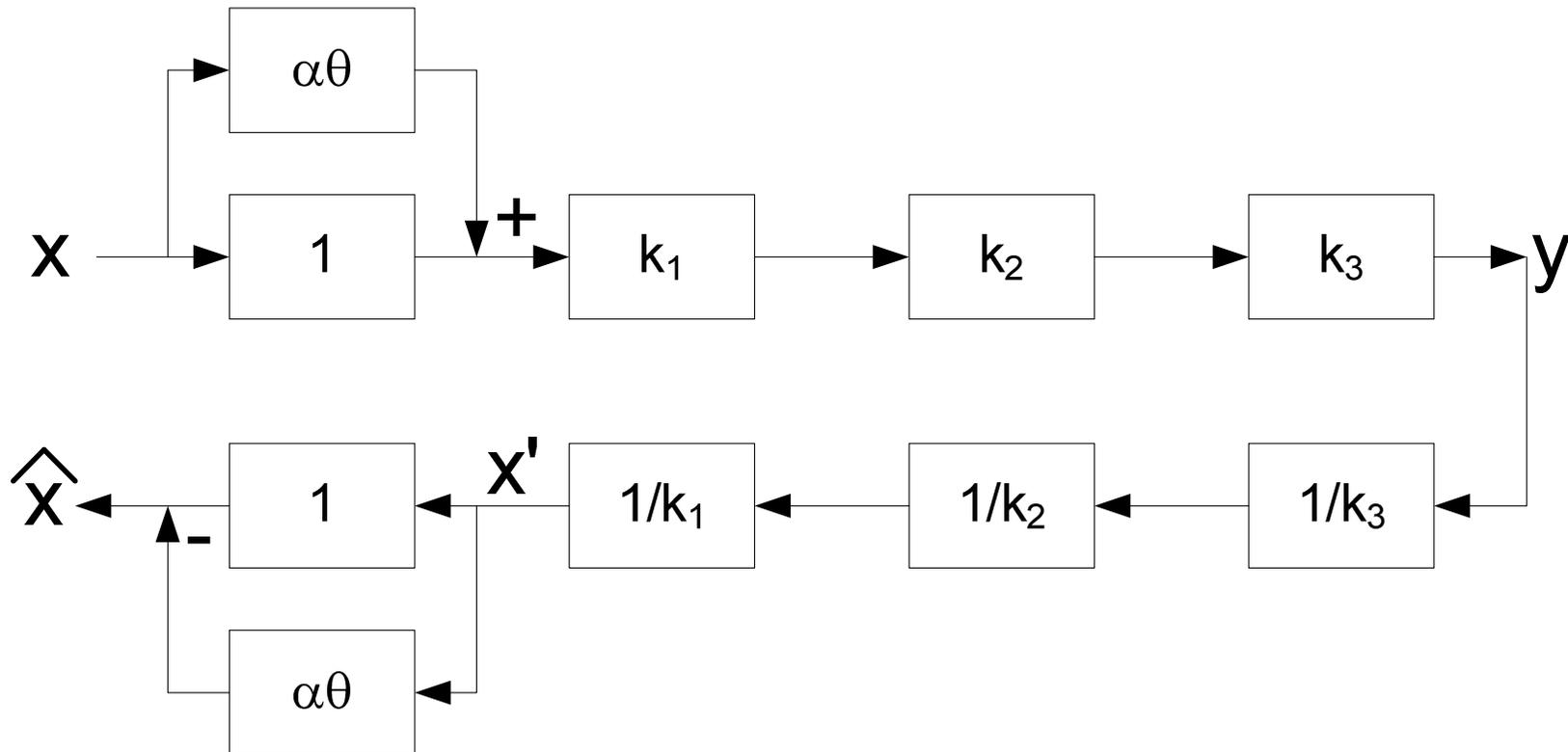
- Si noti che l'unità di misura è °C<sup>-1</sup>.

# Effetto di tipo moltiplicativo

$$\Delta k = \alpha \theta k$$

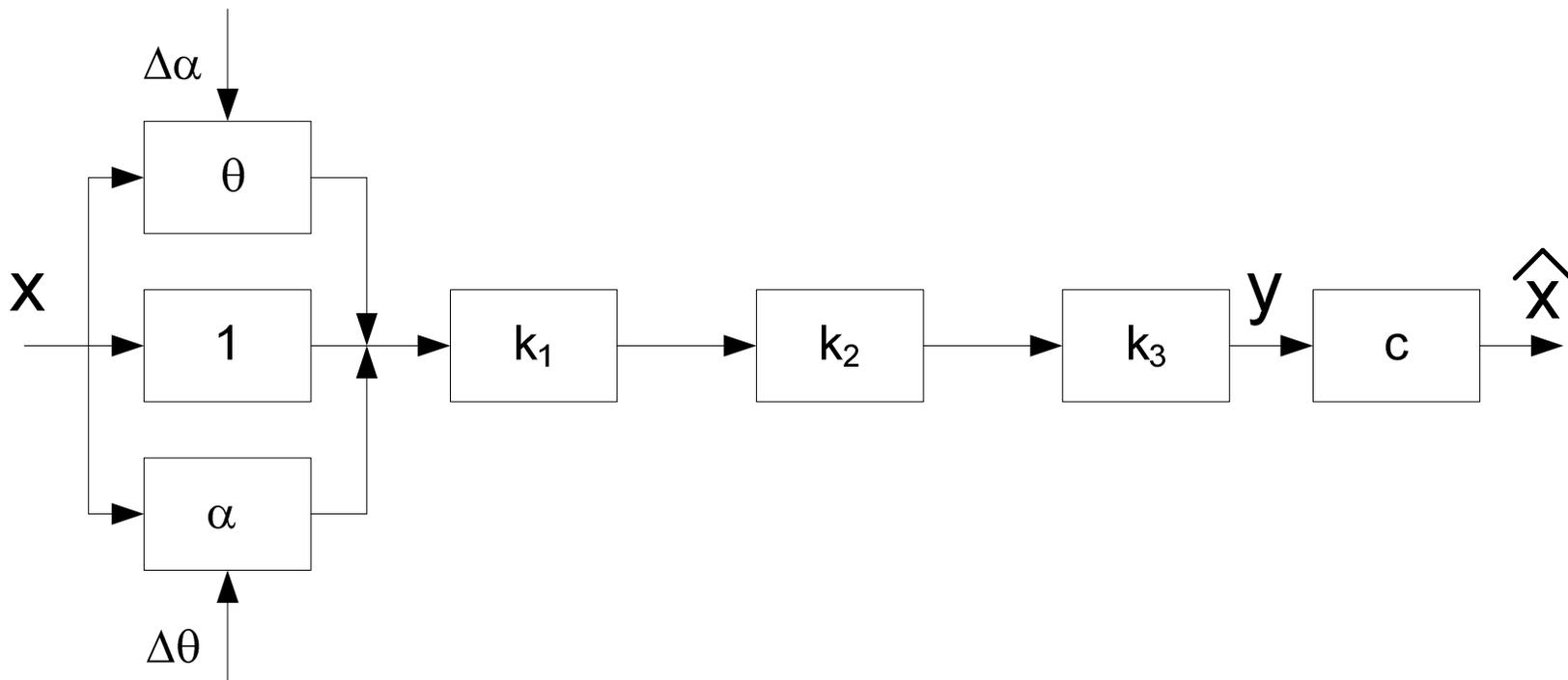


# Compensazione dell'effetto termico



$$\hat{x} = cy(1 - \alpha\theta)$$

# Valutazione dell'incertezza residua



$$e_T = \alpha x_0 \Delta\theta + \theta x_0 \Delta\alpha$$

$$u_T = \sqrt{(\alpha x_0 \sigma_\theta)^2 + (\theta x_0 \sigma_\alpha)^2}$$

## Esempio: Misure di momento torcente

Si consideri una catena per misure di coppia costituita da un sensore elastico strumentato con estensimetri e dotato di un opportuno sistema di condizionamento, un amplificatore ed un voltmetro.

I dispositivi costituenti la catena hanno le seguenti caratteristiche metrologiche, riferite alla temperatura di riferimento  $T_0=20\text{ }^\circ\text{C}$ .

### Sensore

- sensibilità pari a  $0,4\text{ mV/Nm}$  , incertezza massima entro  $\pm 0,2\%$ ;
- sensibilità termica;  $\alpha = \frac{\Delta k/k}{\theta} = 3 \cdot 10^{-4}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  con incertezza massima entro  $\pm 20\%$ ;
- rumore r.m.s. in uscita pari a  $0,06\text{ mV}$ ;

### Amplificatore

- guadagno 100, incertezza massima entro  $\pm 0,1\%$ ;
- rumore r.m.s. in uscita pari a  $2\text{ mV}$ ;

### Voltmetro

- fondo scala  $5\text{V}$ ;
- incertezza massima entro  $\pm 0,1\%$ ;del fondo scala.

## ***Grandezze di Influenza***

Si supponga di effettuare  $N=4$  misure ripetute di coppia, con il sensore mantenuto alla temperatura di  $T = (41 \pm 5) \text{ } ^\circ\text{C}$ , rilevando i seguenti valori di lettura, espressi in mV:

4362	4326	4337	4357
------	------	------	------

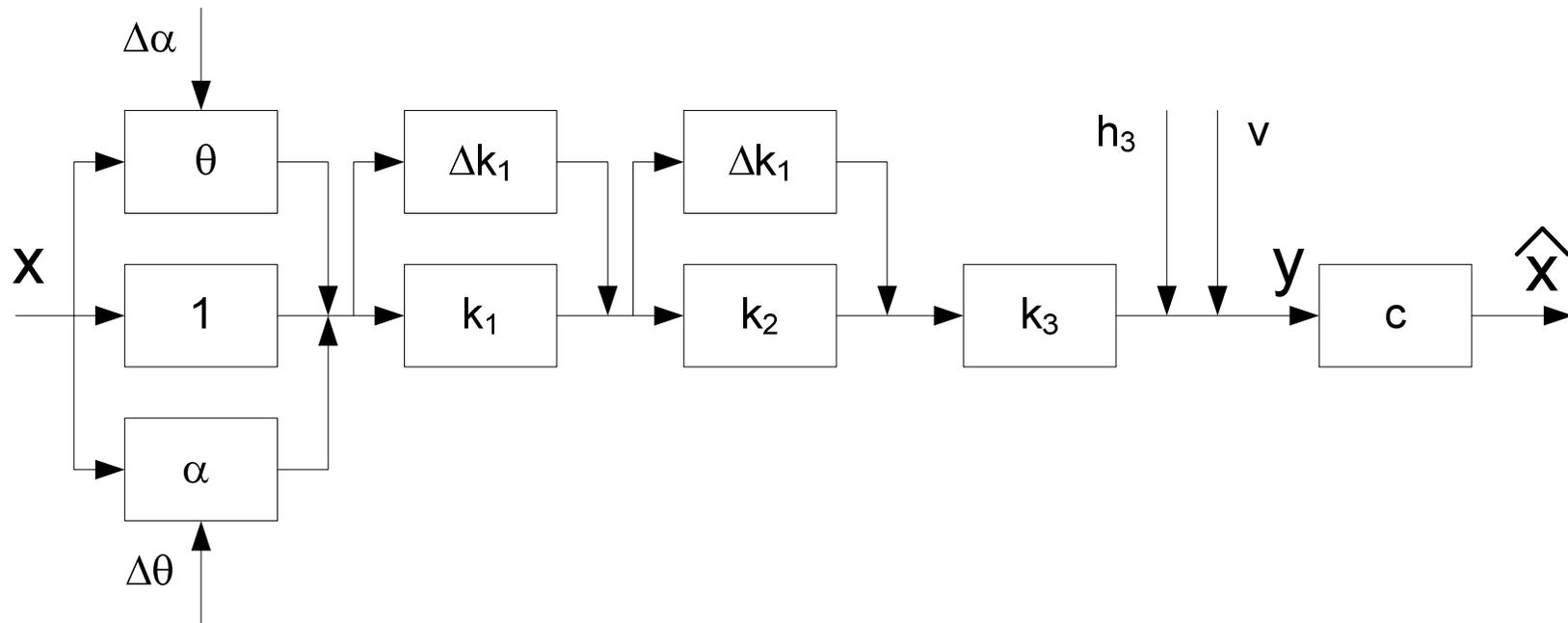
Si richiede il risultato finale della misurazione, con valutazione dell'incertezza standard ed estesa, a livello di copertura 0,95, nell'ipotesi che le uniche sorgenti di incertezza siano quelle documentate dalle caratteristiche metrologiche sopra riportate e dai risultati sperimentali ottenuti.

# Elaborazione delle indicazioni strumentali

$$\bar{y} = 4345,5 \text{ mV} \quad k = 40 \text{ mV/Nm}; c = 0,025 \text{ Nm/mV}$$

$$\theta = 21 \text{ °C}; \hat{x} = 107,953 \text{ Nm} \quad \hat{\sigma}_v = 16,9 \text{ mV}$$

# Valutazione dell'incertezza



# Calcoli e risultato finale

	Grandezza	Incertezza standard	Unità di misura	Sensibilità	Unità di misura	Incertezza riferita al misurando	Gradi di libertà
1	Sensore	$\frac{\Delta k_1}{k_1} \frac{1}{\sqrt{3}} = 1,15 \cdot 10^{-3}$	1	$\hat{x} = 107,95$	Nm	0,125	$\infty$
2	Temperatura	$\frac{\Delta \theta}{\sqrt{3}} = 2,89$	°C	$\alpha \cdot \hat{x} = 3,24 \cdot 10^{-2}$	Nm/°C	0,0935	$\infty$
3	Sensibilità termica	$\frac{\Delta \alpha}{\sqrt{3}} = 3,46 \cdot 10^{-5}$	°C <sup>-1</sup>	$\theta \cdot \hat{x} = 2,27 \cdot 10^3$	Nm °C	0,0785	$\infty$
4	Amplificatore	$\frac{\Delta k_2}{k_2} \frac{1}{\sqrt{3}} = 5,78 \cdot 10^{-4}$	1	$\hat{x} = 107,95$	Nm	0,0623	$\infty$
5	Voltmetro	$\frac{\Delta h_3}{h_3} \frac{5000}{\sqrt{3}} = 2,89$	mV	$c = 0,025$	Nm/mV	0,0722	$\infty$
6	Variabilità aleatoria mediata	$\hat{\sigma}_v = 16,9$	mV	$\frac{c}{\sqrt{N}} = 0,0112$	Nm/mV	0,211	3
						u=0,290	v=11
						U=0,65	

$x = 107,95 \text{ Nm}$  con incertezza tipo  $u=0,29 \text{ Nm}$   
 $x = (107,95 \pm 0,65) \text{ Nm}$  con livello di copertura 0,95