



Università degli Studi di Genova
Ingegneria Meccanica
Misure e Strumentazione



VALUTAZIONE DELL'INCERTEZZA DI MISURA

Valutazione dell'incertezza di misura

- Necessaria ogni volta che le misure servono per prendere decisioni, anche automatiche (es. controllo di qualità, rilevamento limiti di accettabilità per la sicurezza, sistemi di regolazione)
- Richiesta dalla normativa per prove o per gestione della qualità
- Per valutare l'incertezza occorre studiare il comportamento **reale** dei sistemi di misura, mediante metodi statistico- probabilistici.

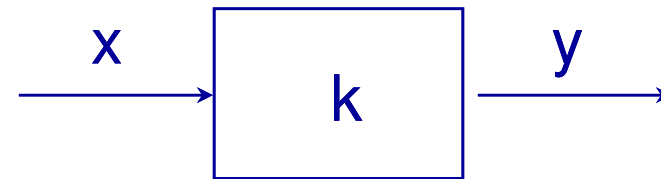
Riferimenti normativi

- **UNI CEI ENV 13005 – 31/03/1990:** *Guida all'espressione della incertezza di misura:*
“Nel riportare il risultato della misurazione di una grandezza fisica, è obbligatorio fornire una qualche indicazione quantitativa della qualità del risultato”
- **ISO 10012:** *Measurement management systems – Requirements for measurement processes and measuring equipment:*
“The measurement uncertainty *shall* be estimated for each measurement process covered by the measurement management system”
- **UNI CEI EN ISO/IEC 17025:** *Requisiti generali per la competenza dei Laboratori di prova e di taratura:*“I laboratori di prova devono avere e devono applicare una procedura per stimare l'incertezza delle misure”

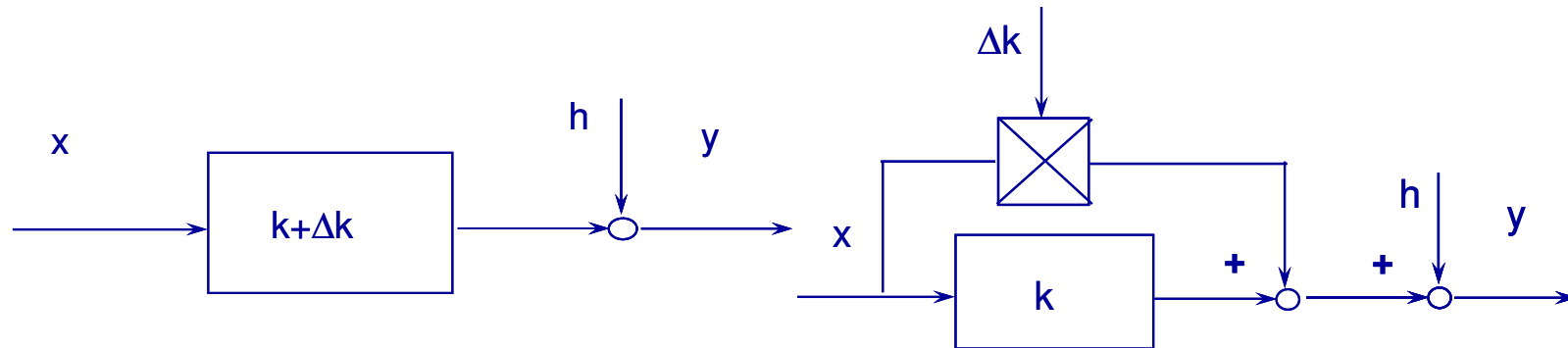
Comportamento **ideale** di un dispositivo per misurazione

Ipotesi:

- l'uscita del dispositivo dipende *solo* dall'ingresso che a noi interessa (cioè non risente di altri ingressi di disturbo);
- l'uscita è legata all'ingresso "buono" mediante una relazione *ben determinata e nota*.



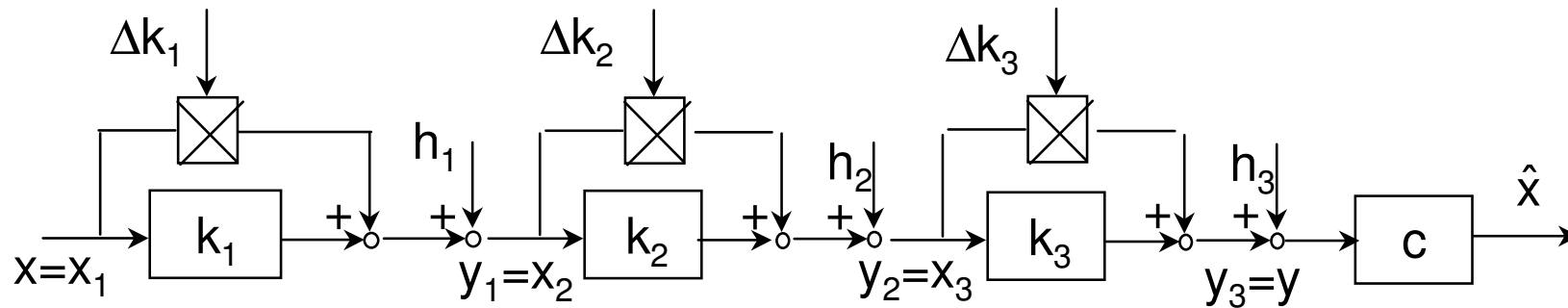
Comportamento **reale** di un dispositivo per misurazione a funzionamento lineare



- Vi sono ingressi di disturbo che si sommano all'uscita
- Le trasformazioni sono soggette a variazioni e/o non sono ben conosciute

Le sorgenti di disturbo possono essere rappresentate come *grandezze (o variabili) di ingresso*.

Comportamento reale di una catena di misura (lineare)



Funzione di sensibilità:

$$\hat{x} = x + \frac{\Delta k_1}{k_1} x + \frac{\Delta k_2}{k_2} x + \frac{\Delta k_3}{k_3} x + ck_2k_3h_1 + ck_3h_2 + ch_3 = x + e$$

Modello per la valutazione dell'incertezza

Caso A:

Previsione dell'incertezza di una misura non ancora eseguita (per caratterizzare la catena di misura)

- Si ipotizza un valore del misurando, $x = x_0$. Dunque il valore di misura è la somma del valore del misurando e dell'errore

$$\hat{x} = x_0 + e$$

- L'incertezza standard u è la deviazione standard dell'errore, che, a sua volta è una v.a. combinazione lineare di v.a. che rappresentano gli ingressi di disturbo.

Modello per la valutazione dell'incertezza

Caso B:

Valutazione dell'incertezza di una misura effettivamente eseguita (per caratterizzare la misura)

- Il valore del misurando è la somma del valore di misura e della correzione dell'errore

$$X = \hat{X} + \kappa = \hat{X} - e$$

- L'incertezza standard u è la deviazione standard della correzione, uguale alla deviazione standard dell'errore, che, è sempre una v.a. combinazione lineare di v.a. che rappresentano gli ingressi di disturbo.

Valutazione dell'incertezza standard di misura

EQUAZIONE DI SENSIBILITÀ

$$e = \sum_{i=1}^{2n} a_i v_i$$

INCERTEZZA STANDARD

Grandezze di ingresso non correlate:

$$u = \sigma_e = \sqrt{\sum_{i=1}^{2n} a_i^2 \sigma_i^2}$$

Grandezze di ingresso correlate:

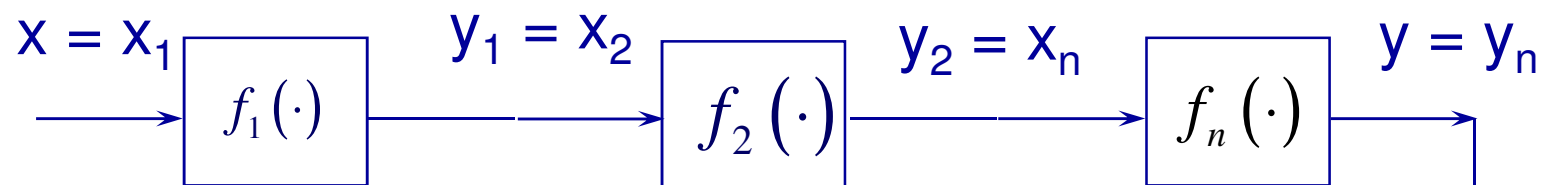
$$u = \sigma_e = \sqrt{\sum_{i=1}^{2n} \sum_{j=1}^{2n} a_i a_j \rho_{ij} \sigma_i \sigma_j}$$

Procedura per la valutazione dell'incertezza di una misura singola

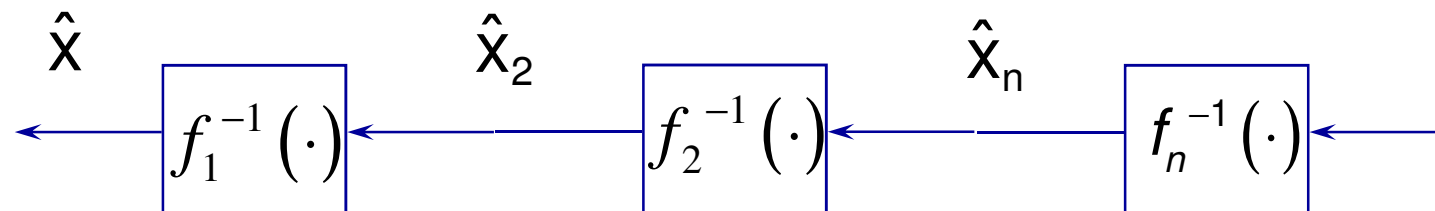
1. Individuare tutte le sorgenti non trascurabili di incertezza
2. Individuare in quale punto della catena di misura si manifestano
3. Capire se sono di tipo additivo o moltiplicativo
4. Scrivere la funzione di sensibilità
5. Fissare un valore di riferimento del misurando
6. Procurarsi i valori numerici necessari (incertezze standard delle singole componenti e relative sensibilità, eventuali coefficienti di correlazione), utilizzando le informazioni disponibili
7. Calcolare l'incertezza standard della misura mediante la formula che porge l'incertezza di una combinazione lineare di variabili aleatorie.

Appendice: Studio del comportamento nominale di una catena di misura - Generalizzazione

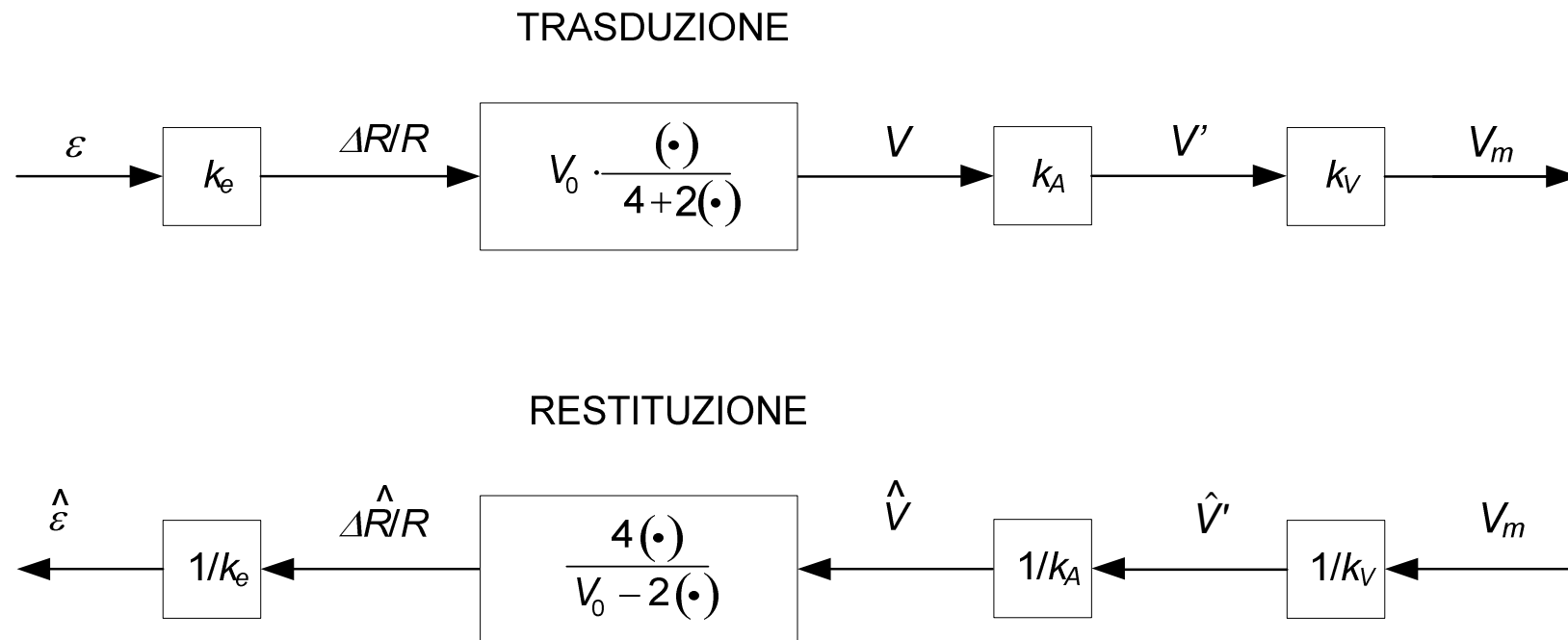
TRASDUZIONE



RESTITUZIONE



Esempio: catena di misura estensimetrica



Esempio: valutazione dell'incertezza di una misura estensimetrica

Consideriamo un sistema per misure di deformazione, avente le seguenti caratteristiche tecniche.

- Estensimetro, sensibilità: $k_e = 2,0 \frac{\mu\Omega/\Omega}{\mu m/m} \pm 1\%$ (sensibilità dell'estensimetro)
- Tensione di alimentazione del ponte: $V_0 = 5 \text{ V}$
- Amplificatore:
 - Guadagno: $k_A = 100 \pm 1\%$
 - Rumore in uscita 1 mV rms
- Voltmetro
 - Fondo scala 1 V
 - Incertezza ± 1 per mille f.s.

Eseguiamo una misura e leggiamo sul voltmetro il valore $V_m = 10 \text{ mV}$

Determinare il risultato finale e l'incertezza standard.

Studio del comportamento nominale

La sensibilità complessiva è dunque pari a:

$$k = 0,25 \frac{mV}{\mu m/m}$$

La costante di taratura è

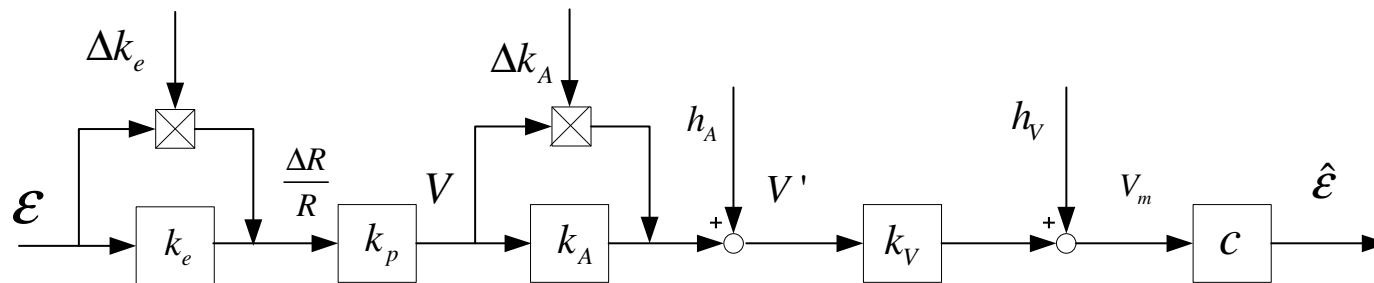
$$c = 4 \frac{\mu m/m}{mV}$$

Il valore di misura è

$$\hat{\varepsilon} = cV_m = 40 \frac{\mu m}{m}$$

Studio del comportamento reale

Lo schema a blocchi che descrive il comportamento reale è



La funzione di sensibilità è:

$$e = \varepsilon \frac{\Delta k_e}{k_e} + \varepsilon \frac{\Delta k_A}{k_A} + ck_V h_A + ch_V$$

$$\cong \hat{\varepsilon} \frac{\Delta k_e}{k_e} + \hat{\varepsilon} \frac{\Delta k_A}{k_A} + ck_V h_A + ch_V$$

Calcolo

| N | Grandezza di ingresso | Incertezza standard | Unità misura | Sensibilità | Unità misura | Incertezza rif. misurando |
|---|--------------------------|---------------------|--------------|-------------|--------------------|---------------------------|
| 1 | Sensibilità estensimetro | 0,00577 | 1 | 40 | $\frac{\mu m}{m}$ | 0,231 |
| 2 | Guadagno voltmetro | 0,00577 | 1 | 40 | $\frac{\mu m}{m}$ | 0,231 |
| 3 | Rumore amplificatore | 1 | mV | 4 | $\frac{\mu m}{mV}$ | 4,00 |
| 4 | Incertezza voltmetro | 0,577 | mV | 4 | $\frac{\mu m}{mV}$ | 2,31 |
| | | | | | | u = 4,6 |

Il risultato finale è

$$\varepsilon = 40 \frac{\mu m}{m} \text{ con incertezza standard pari a } 5 \frac{\mu m}{m},$$