

# Soluzione guidata (ITS Meccatronico) – Prova C

Riferimento: filecite turn2file0

## Dati del problema

- Intervallo di misura:  $x \in [0, 2] \text{ m} = [0, 2000] \text{ mm}$
- Sensore lineare assoluto S:
- offset:  $V_{ofs} = 2 \text{ V}$
- sensibilità:  $s = -2 \text{ mV/mm} = -0.002 \text{ V/mm}$
- incertezza:  $U_x = \pm 0.4 \text{ mm}$
- Blocco di condizionamento c: offset  $V_0$  e guadagno  $k_0$
- ADC:
- input range:  $[0, 8] \text{ V}$
- numero di bit: B

## 1) Trans-caratteristica del sensore (con incertezza)

Legge lineare del sensore:

$$v_S(x) = V_{ofs} + s \cdot x$$

Sostituendo i dati:

$$v_S(x) = 2 - 0.002 \cdot x \text{ [V]} \text{ (con } x \text{ in mm)}$$

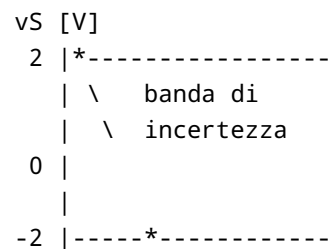
Valori agli estremi:  $-x = 0 \text{ mm} \rightarrow v_S = 2 \text{ V}$  -  $x = 2000 \text{ mm} \rightarrow v_S = 2 - 0.002 \cdot 2000 = -2 \text{ V}$

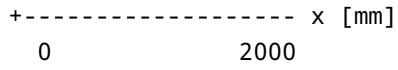
Range del sensore:  $[-2, +2] \text{ V}$

Tenendo conto dell'incertezza:

$$v_S(x) \in [2 - 0.002 \cdot (x \pm 0.4)]$$

Graficamente (banda di incertezza):





## 2) Progetto del blocco di condizionamento c (ottimale)

Obiettivo: sfruttare tutto il range dell'ADC [0 , 8] V.

Range sensore:  $-v_{S,min} = -2 \text{ V}$  -  $v_{S,max} = +2 \text{ V}$

Trasformazione affine:

- $v_{ADC} = k_0 \cdot v_S + V_0$

Vincoli:  $-v_S = -2 \text{ V} \rightarrow v_{ADC} = 0 \text{ V}$  -  $v_S = +2 \text{ V} \rightarrow v_{ADC} = 8 \text{ V}$

Sistema:

- $0 = k_0(-2) + V_0$
- $8 = k_0(2) + V_0$

Sottrazione:

- $8 = 4k_0 \rightarrow k_0 = 2$

Calcolo  $V_0$ :

- $0 = -4 + V_0 \rightarrow V_0 = 4 \text{ V}$

Quindi:

- **$v_{ADC} = 2 \cdot v_S + 4$**

## 3) Numero di bit B per risoluzione complessiva < 0.4 mm

Relazione tra  $v_{ADC}$  e  $x$ :

- $v_S(x) = 2 - 0.002x$
- $v_{ADC} = 2v_S + 4 = 2(2 - 0.002x) + 4 = 8 - 0.004x$

Sensibilità complessiva:

- $dv_{ADC}/dx = -0.004 \text{ V/mm}$

Risoluzione spaziale:

- $\Delta x = q / |dv_{ADC}/dx|$

con:

- $q = 8 / 2^B$

Richiesta:

- $\Delta x < 0.4 \text{ mm}$

Sostituzione:

- $(8 / 2^B) / 0.004 < 0.4$
- $8 / (0.004 \cdot 2^B) < 0.4$
- $2000 / 2^B < 0.4$
- $2^B > 5000$

Poiché:  $2^{12} = 4096$  -  $2^{13} = 8192$

Risulta:

- **B = 13 bit** (minimo valore accettabile)

#### 4) Risoluzione ADC e del sistema (con B = 13)

Passo ADC:

- $q = 8 / 2^{13} = 8 / 8192 = 0.0009766 \text{ V} \approx 0.977 \text{ mV}$

Risoluzione spaziale:

- $\Delta x = q / 0.004 = 0.0009766 / 0.004 = 0.244 \text{ mm}$

Risultato:

- Risoluzione ADC: 0.977 mV
- Risoluzione sistema:  **$\Delta x \approx 0.244 \text{ mm}$**

#### 5) Operazione del blocco P (Processing)

Il blocco P deve invertire la relazione  $v_{ADC}(x)$ .

Da:

- $v_{ADC} = 8 - 0.004x$

Si ricava:

- $0.004x = 8 - v_{ADC}$
- $x = (8 - v_{ADC}) / 0.004$

Quindi l'operazione svolta da P è:

$$\bullet \mathbf{x_D = (8 - v_D) / 0.004} \text{ (con } v_D \text{ campione ADC)}$$

## **6) Risultato della misura per $v_D = 1.75 \text{ V}$ (con incertezza)**

Stima nominale:

$$\bullet x_D = (8 - 1.75) / 0.004 = 6.25 / 0.004 = 1562.5 \text{ mm} = 1.5625 \text{ m}$$

Tenendo conto dell'incertezza del sensore:

$$\bullet U_x = \pm 0.4 \text{ mm}$$

Risultato finale:

$$\bullet \mathbf{x = (1562.5 \pm 0.4) \text{ mm}}$$

Oppure:

$$\bullet \mathbf{x = (1.5625 \pm 0.0004) \text{ m}}$$

## **Domande di rinforzo**

1) Se l'ADC fosse a 12 bit, la specifica di risoluzione sarebbe soddisfatta? 2) Qual è il ruolo dell'offset  $V_0$  nel blocco di condizionamento? 3) Perché la risoluzione deve essere migliore dell'incertezza del sensore?