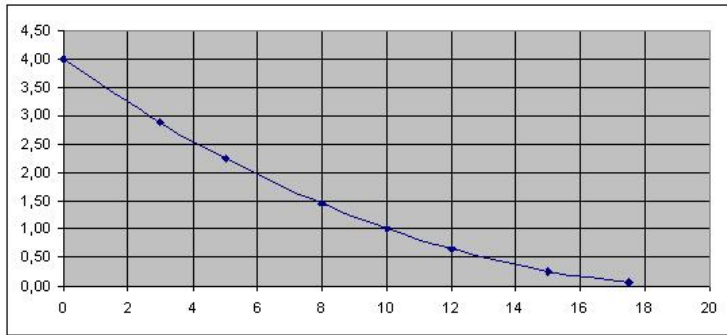


Esercitazione

Taratura sensore di temperatura
(file collegato esercitazione1.m)

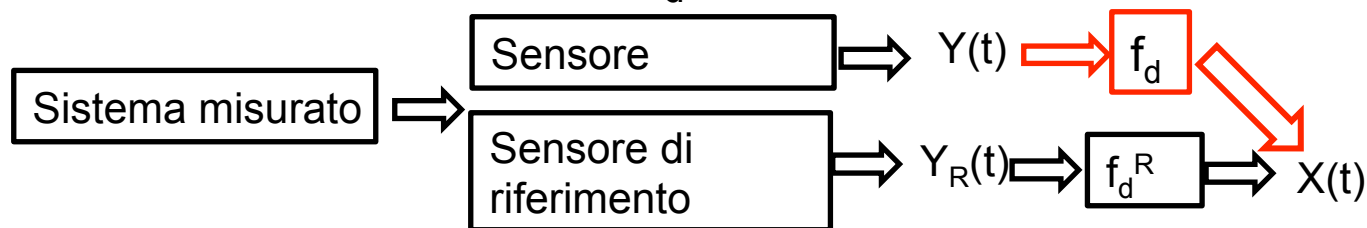
Sensori – Funzioni di conversione

- La funzione di conversione diretta f_d può essere ricavata in diverse modalità
 1. Nota a priori conoscendo il modello fisico/elettrico del sensore
 2. Costruita per punti imponendo X noti (**non sempre possibile**)
 - metodo valido per una caratterizzazione quasi-statica



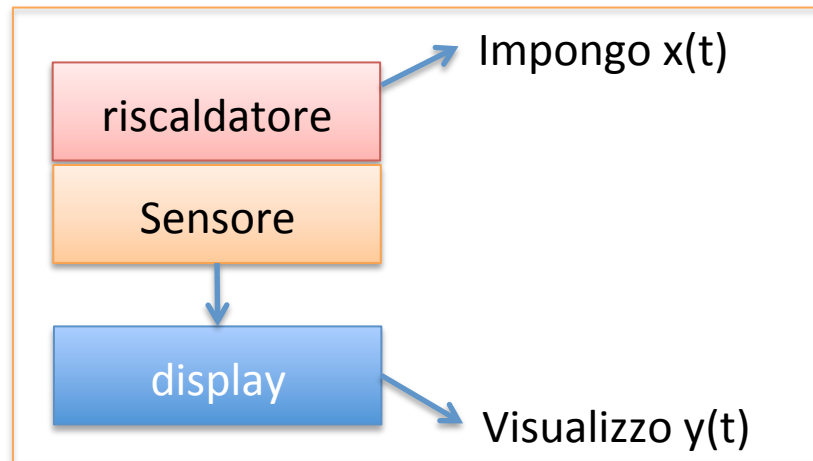
X	Y
x_0	y_0
x_1	y_1
x_2	y_2

3. Costruita per punti utilizzando un sensore di riferimento molto preciso (di cui sappiamo la f_d)



Es. Misura di Temperatura

- Costruiamo la funzione di taratura per punti



- Modalità alternativa: valuto l'uscita in comparazione con un sensore molto preciso (sistema di riferimento)

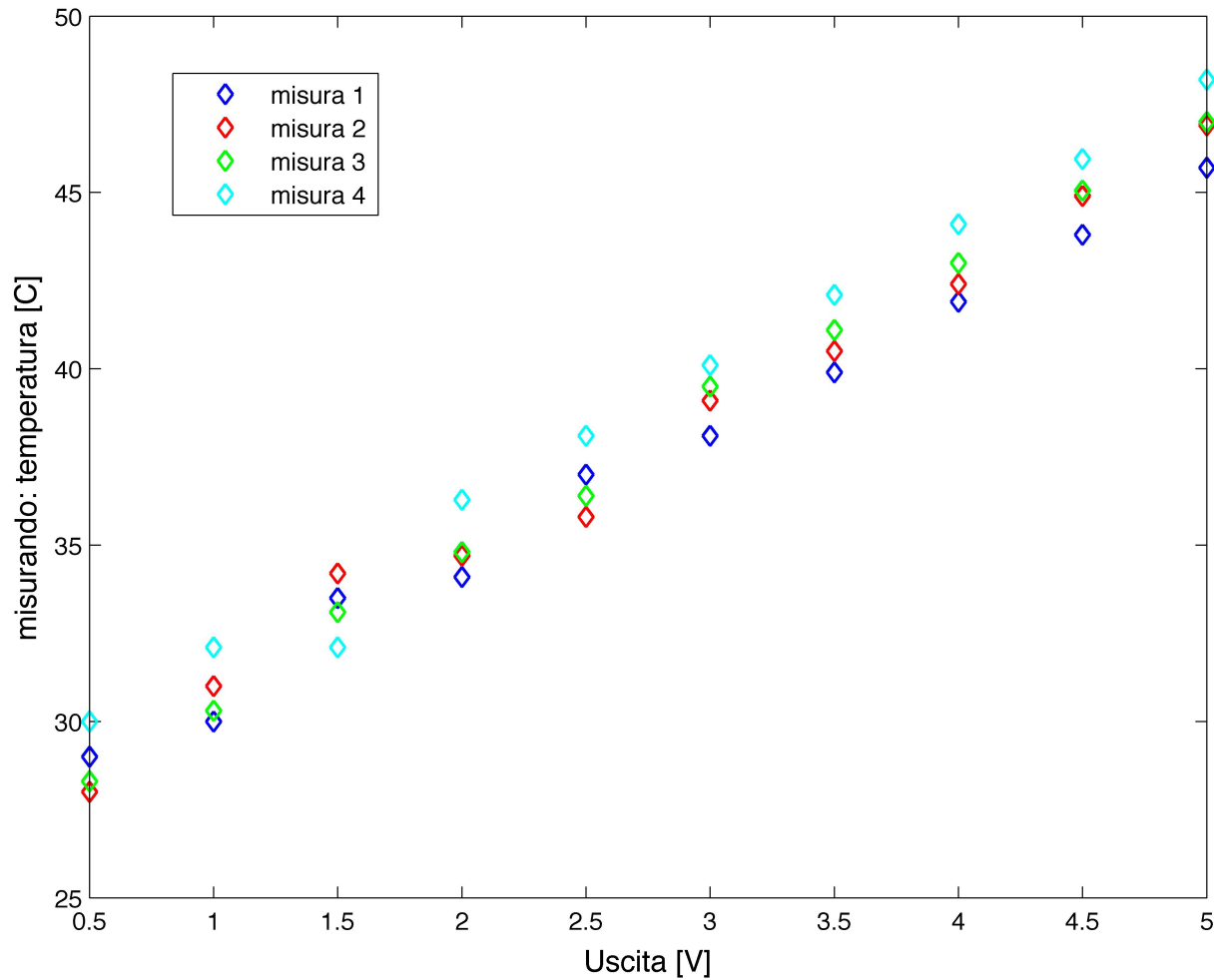
Raccolta dati

- Si parte da una serie di misure ripetute: per ogni valore dell'uscita si valuta il misurando
 - Maggiore numero di misure maggiore è l'affidabilità dei risultati
 - Effettuiamo 4 misurazioni successive

Uscita [V]	valori del misurando [C]			
0.5	29	28	28.3	30
1	30	31	30.3	32.1
1.5	33.5	34.2	33.1	32.1
2	34.1	34.7	34.8	36.285
2.5	37	35.8	36.4	38.1
3	38.1	39.1	39.5	40.1
3.5	39.9	40.5	41.1	42.1
4	41.9	42.4	43	44.1
4.5	43.8	44.9	45.05	45.95
5	45.7	46.9	47	48.2

Graficazione

- Uscita/misurando



Parametri da Calcolare

- determinare costante di taratura
- sensibilità
- incertezza di taratura,
- errore di linearità
- offset

Richiamo caratteristiche metrologiche in regime stazionario

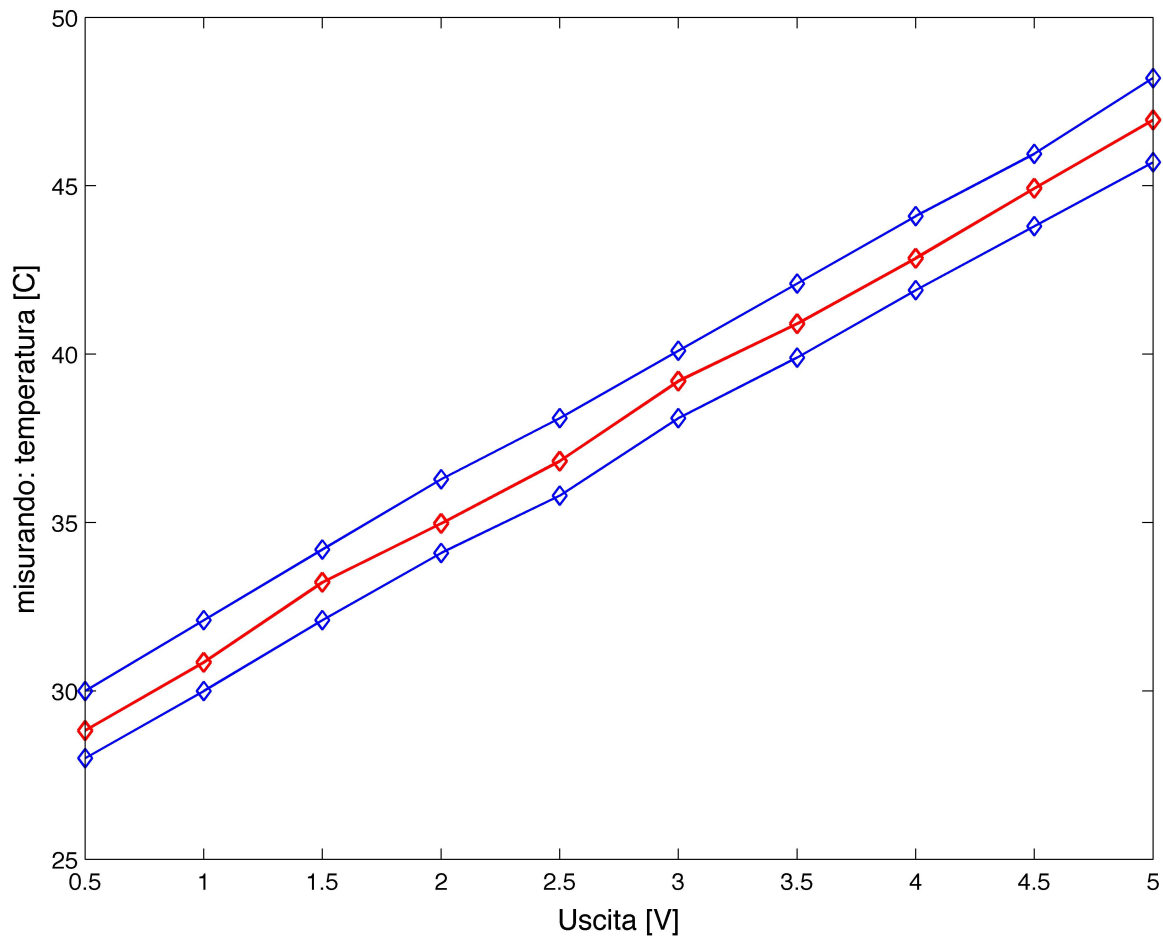
- **Funzione di taratura:** la relazione che permette di ricavare per ogni valore dell'uscita (appartenente al campo di funzionamento normale) la corrispondente fascia di valore del misurando.
- **Curva di taratura:** è la relazione tra ogni valore della grandezza di uscita e il corrispondente valore da assegnare al punto centrale della fascia di valore relativa al misurando.
 - Quando la curva di taratura è rettilinea, cioè esiste una relazione di proporzionalità fra uscita e misurando, essa viene espressa di regola con un coefficiente chiamato **costante di taratura**

Taratura

- Funzione di taratura: identifichiamo la fascia per ogni valore di uscita
- Curva di taratura: identifichiamo il valor medio della fascia

Uscita [V]	min. misurando	max misurando	valore medio
0.5	28	30	28.825
1	30	32.1	30.85
1.5	32.1	34.2	33.225
2	34.1	36.285	34.97125
2.5	35.8	38.1	36.825
3	38.1	40.1	39.2
3.5	39.9	42.1	40.9
4	41.9	44.1	42.85
4.5	43.8	45.95	44.925
5	45.7	48.2	46.95

Funzione/curva di taratura



Definizione Incertezza di Taratura

- **Incertezza di taratura (errore):** è la larghezza della fascia di valore.
 - Anche se la larghezza non è costante, tale numero è da interpretarsi come la massima incertezza all'interno del campo di funzionamento normale.
 - L'incertezza può essere espressa secondo diverse modalità:
 - in **valore assoluto** con la stessa unità di misura del misurando (**incertezza assoluta**)
 - in **valore relativo** rapportandola al valore del punto intermedio della fascia a cui è associata (**incertezza relativa**)
 - in **valore ridotto** rapportandola a un determinato valore del campo di misura, di solito il limite superiore (**incertezza ridotta**)
 - Precisione o accuratezza sono sinonimi di incertezza relativa.

Incetenza assoluta: $\varepsilon \rightarrow [X_0 - \varepsilon/2; X_0 + \varepsilon/2]$

Incetenza relativa: $\varepsilon_r = \varepsilon/X_0 \rightarrow [X_0 - (\varepsilon_r X_0)/2; X_0 + (\varepsilon_r X_0)/2]$

Incetenza ridotta: $\varepsilon_{rid} = \varepsilon/X_{FS} \rightarrow [X_0 - (\varepsilon_{rid} X_{FS})/2; X_0 + (\varepsilon_{rid} X_{FS})/2]$

Calcolo Incertezza di taratura

- Assoluta

- Massima ampiezza fascia di taratura: 2.5 C

- Relativa:

- Rispetto al valore centrale fascia: 0.069 (6.9%)
- Rispetto al fondo scala (50C): 0.050 (5%)
- Nota: spesso i costruttori si mettono nel caso migliore

ampiezza fascia	reativa punto intermedio	relativa rispetto all'estremo del campo di misura (50 C)
2	0.069	0.040
2.1	0.068	0.042
2.1	0.063	0.042
2.185	0.062	0.044
2.3	0.062	0.046
2	0.051	0.040
2.2	0.054	0.044
2.2	0.051	0.044
2.15	0.048	0.043
2.5	0.053	0.050

Caratteristiche del sensore

- **Linearità:** è un'indicazione di quanto la curva di taratura si discosta dall'andamento rettilineo. E' specificata fornendo il valore massimo dello scostamento dei singoli punti della curva di taratura da una retta di riferimento opportunamente definita.
 - linearità riferita allo zero: la retta di riferimento passa per l'estremo inferiore della curva di taratura, corrispondente all'estremo inferiore del campo di misura, ed è tracciata in modo da rendere minimo il più elevato (in valore assoluto) degli scostamenti;
 - linearità riferita agli estremi: la retta di riferimento congiunge i due estremi della curva di taratura corrispondenti ai due estremi del campo di misura;
 - Linearità secondo i minimi quadrati: la retta di riferimento è quella che corrisponde al valor minimo della somma dei quadrati degli scostamenti;
 - linearità indipendente: la retta di riferimento è quella che rende minimo il più elevato (in valore assoluto) degli scostamenti.

Calcolo della Linearità

- Riferita agli estremi $x = m \cdot y + q$

$$\begin{cases} m \cdot 0.5 + q = 28.82 \\ m \cdot 5 + q = 46.95 \end{cases}$$

Ricavo $m=4$, $q=26.82$

$$x = 4 \cdot y + 26.95$$

Calcolo della Linearità

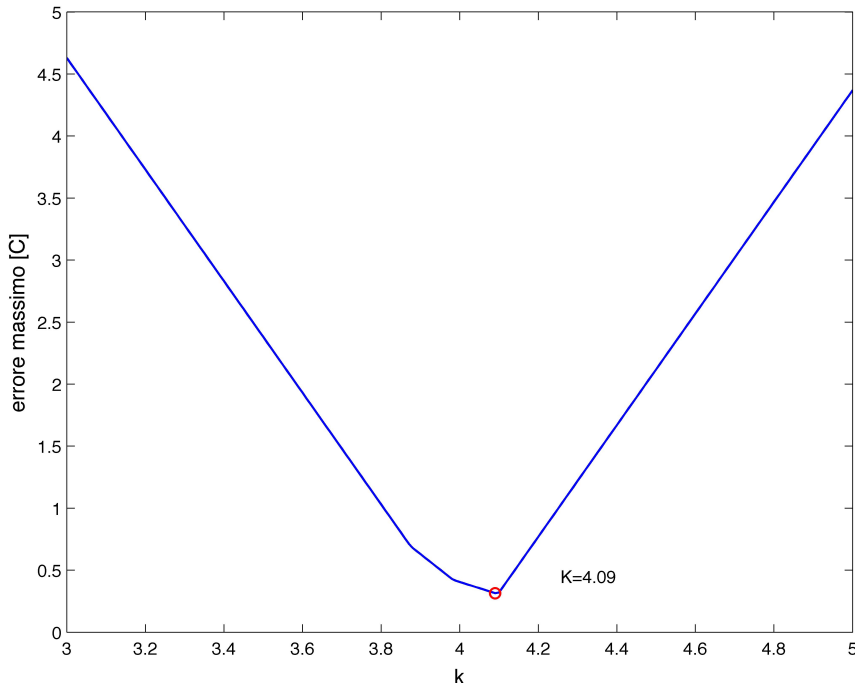
- Riferita allo zero $x - 28.82 = k \cdot (y - 0.5)$

Faccio variare k fino a minimizzare il massimo valore assoluto degli scostamenti

$$\varepsilon_i = |k \cdot (Y_i - 0.5) + 28.82 - X_{CTi}|$$

$$\varepsilon_5 = |k \cdot (3 - 0.5) + 28.82 - 39.20|$$

Esempio partendo dal coefficiente angolare ricavato nel caso riferito agli estremi faccio variare k nell'intervallo [3,5] a passi di 0.01.



Otengo k=4.09 da cui ricavo la retta di regressione:

$$x = 4.09 \cdot y + 26.77$$

Calcolo della Linearità

$$x = m \cdot y + q$$

- Minimi quadrati

Minimizzo la quantità

$$R = \sum_i (m \cdot Y_i + q - X_{CTi})^2$$

Soluzione data da

Con N coppie (x_i, y_i)

$$m = \frac{N \sum_i X_i Y_i - \sum_i X_i \sum_i Y_i}{N \sum_i Y_i^2 + \left(\sum_i Y_i \right)^2}$$

Otteniamo m=3.99, q=26.95

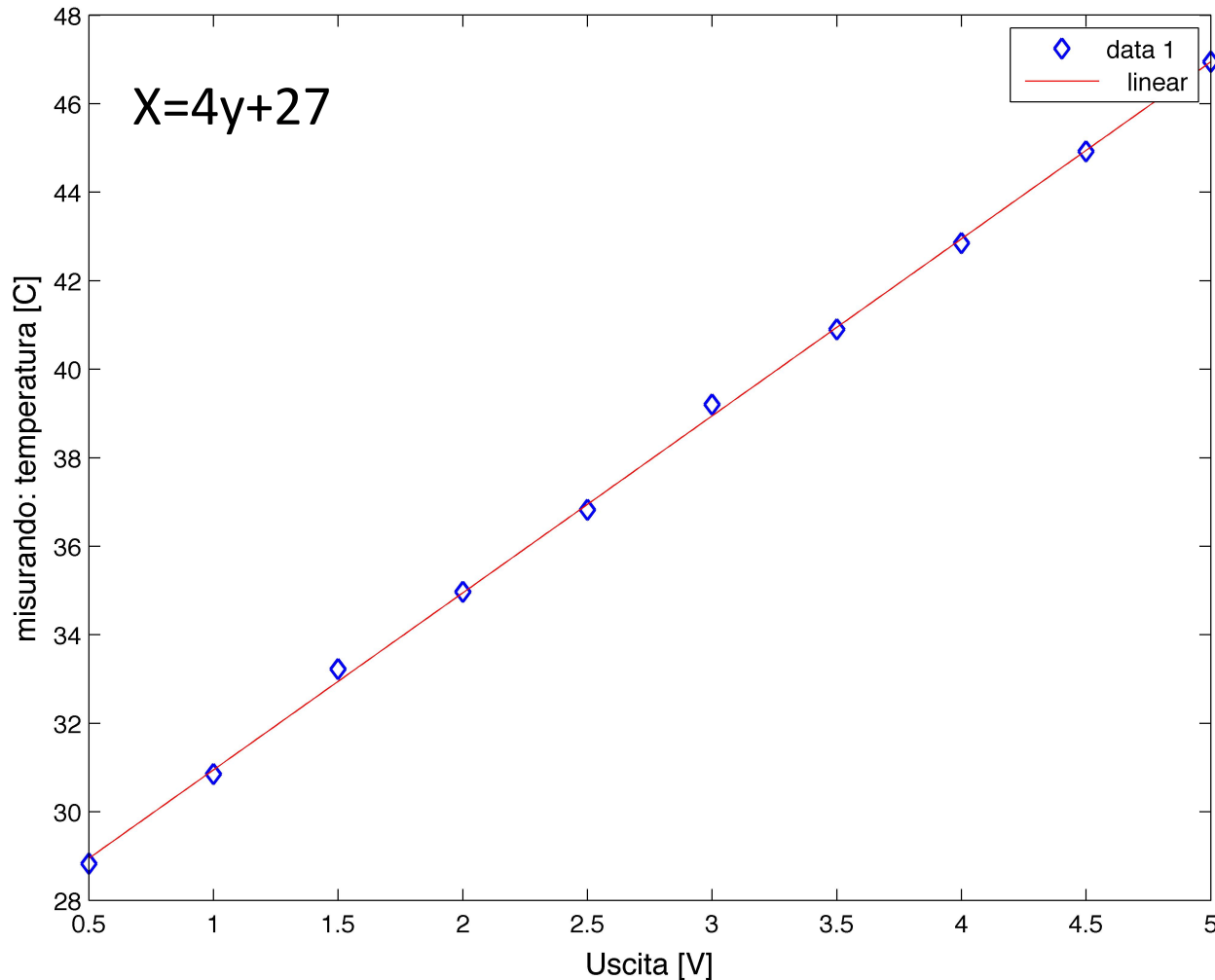
$$x = 3.99 \cdot y + 26.95 \quad q = \frac{\sum_i X_i \sum_i (Y_i)^2 - \sum_i Y_i \sum_i X_i Y_i}{N \sum_i Y_i^2 + \left(\sum_i Y_i \right)^2}$$

Linearità/Offset

- Equazione fitting $x=4y+27$ (linearità indipendente)
- Massimo scostamento dalla retta (ottenuto per $y=1.5V$)
 $|4 \cdot 1.5 + 27 - 33.22| = 0.22$
 - Linearità 0.22 C
 - Costante di taratura: 4 C/V
- Offset
 - Valore dell'uscita che si ottiene con misurando nullo
 - $4 \cdot y + 27 = 0 \rightarrow y = -6.75V$

Linearità

- Interpolazione lineare della curva di taratura (linearità indipendente)



Costruzione Taratura attraverso dati del costruttore

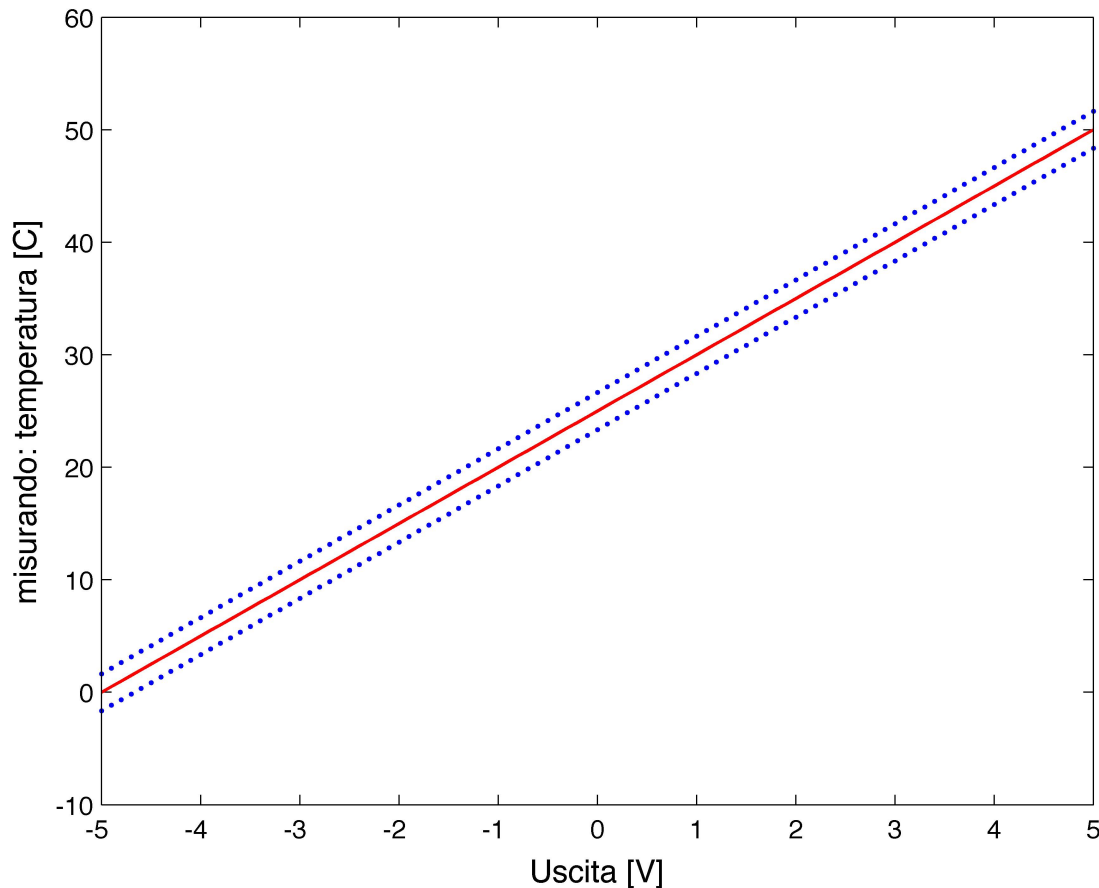
- Costante di taratura 5 C/V
- Linearità 0.33 C
 - dovrebbe dirci in che modo interpola la retta, ma non sempre lo fa!! (di solito usa la tecnica che dà una linearità migliore)
- Offset -5 V
 - Oppure uscita per un determinato valore di V
- Accuratezza relativa sul fondo scala di 50C di 0.06 V

Determinazione dell'errore di stima

- Ampiezza della fascia
 - Somma dei contributi di linearità e di accuratezza: $0.33C + 0.06 \cdot 50C = 3.33C$
- Costruzione della retta lineare
 - $x = m \cdot y + q$
 - $m = \underline{\text{costante di taratura}} = 5C/V$
 - Dobbiamo ricavare $q \rightarrow$ impongo il valore dell'offset $\rightarrow 0 = 5 \cdot (-5) + q \rightarrow q = 25$
 - Ottengo : $x = 5 \cdot y + 25$

Determinazione dell'errore di stima

- Plotto la retta $x=5y+25$ considerando una fascia di errore di ampiezza 3.33C



Determinazione dell'errore di stima

- Esempio: come interpreto un'uscita di 1V?
 - Utilizzando la relazione lineare ottengo $x=30$ C
 - Sfruttando la larghezza della fascia di 3.33C ottengo che la temperatura misurata è compresa tra 28.33 C e 31.66 C

