

SISTEMI DI ACQUISIZIONE DATI

CdS Fisica
Laboratorio Meccanica e Termodinamica

I Sensori

- Un **sensore** è un dispositivo capace di generare una risposta **Y** (chiamata **segnale**, di solito una **ddp**) in presenza di una grandezza fisica **X**.
- X costituisce l'ingresso (**input**) del sensore e Y la sua uscita (**output**).
- Nel caso della termocoppia la variazione di temperatura sulla punta (giunto caldo) induce una variazione di potenziale elettrico all'estremo opposto, mantenuto a temperatura costante (giunto freddo).
- **$Y = F(X)$** rappresenta la **curva caratteristica** (o di calibrazione) del sensore e descrive la relazione fra input e output.

I Sensori (II)

- La **sensibilità** è definita come la **derivata della curva caratteristica**:

$$\text{sensibilità} = F'(x) = \frac{dF(x)}{dx}$$

- ad esempio, per termocoppia di tipo K, la sensibilità è costante a circa $40 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$, almeno nell'intervallo di temperature tra 0° e 100°C .
- Notare che **la caratteristica non sempre è lineare**: la sensibilità quantifica la variazione di output in risposta alla variazione di input in un particolare **punto di lavoro** (cioè valore di X)

I Sensori (III)

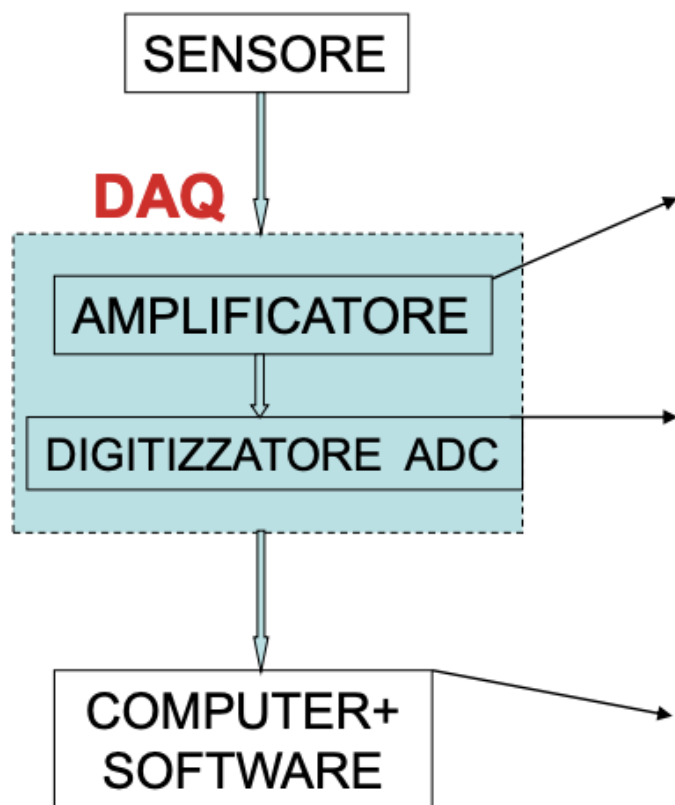
- L' **accuratezza** di un sensore è la **massima differenza fra il suo output e quello "corretto"**, misurato con uno standard, a parità di input, ovvero:

$$accuratezza = \max[F(x) - F_{std}(X)]$$

- L'accuratezza può essere espressa sia in termini assoluti, che in percentuale sulla lettura (spesso riportata come ppm = parti per milione = 10^{-6}).
- Quantifica l'entità di errori sistematici, ad esempio un offset.

La Catena di Misura

Un sistema di misura adatto all'acquisizione dati on-line può essere schematizzato nei seguenti componenti fondamentali:



amplifica, ovvero “moltiplica” il segnale per un fattore di amplificazione f_{amp} opportuno.

L'ADC (**Analog to Digital Converter**)

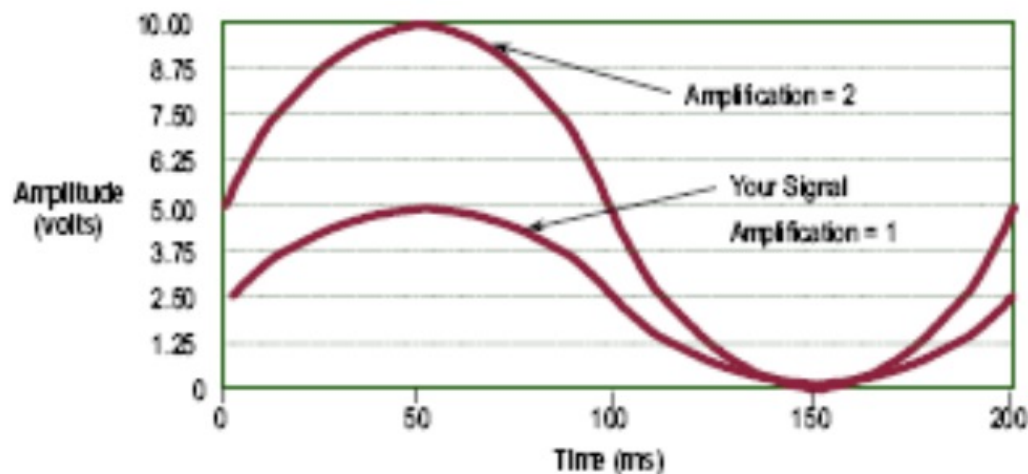
trasforma il valore, continuo, di ddp in un numero binario trattabile dal computer.

Spesso amplificatore e digitizzatore fanno parte unico **dispositivo DAQ** (data acquisition)

Riceve il dato digitizzato, applica le formule per determinare il valore di input, eventualmente visualizza, archivia, elabora, etc.

Amplificazione

- Il dispositivo DAQ permette di scegliere il fattore f_{amp} per cui **il segnale di ingresso viene moltiplicato prima di essere digitizzato.**
- Se $f_{\text{amp}} < 1$ il segnale viene in realtà **attenuato.**



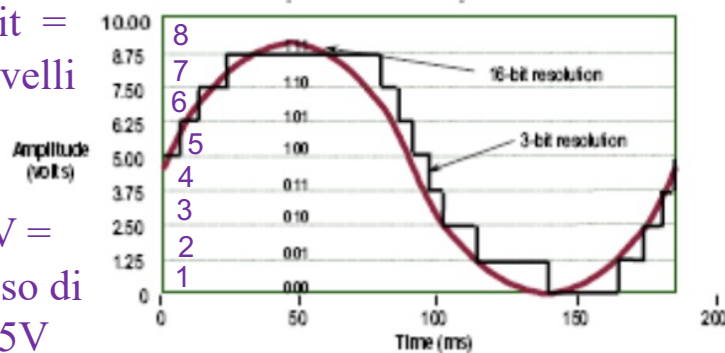
- f_{amp} deve essere scelto in modo tale da **sfruttare tutta la finestra di acquisizione**

Digitalizzazione

- L'ADC (Analog to Digital Converter) **trasforma il segnale analogico** in uscita dall'amplificatore in un numero binario, cioè **in un segnale digitale**.
- Ogni ADC è caratterizzato dal numero di **bit impiegati per la rappresentazione** del segnale:
 ADC a 3 bit $\Rightarrow 2^3 = 8$ livelli
 ADC a 16 bit $\Rightarrow 2^{16} = 65536$ livelli.
- Più il **numero di livelli è elevato** più la **rappresentazione** del segnale digitale sarà **fedele** a quella analogica.

3 bit =
8 livelli

10V =
passo di
1.25V



La figura mostra il risultato del processo di digitalizzazione di un segnale sinusoidale in funzione del tempo ad opera di un ADC a 3 bit (nero) o 16 bit (rosso)

Portata

L'ADC è caratterizzato anche da una **portata**, ovvero un **valore massimo (ADC_{max}) e minimo (ADC_{min}) accettati in ingresso**.

Deve risultare che:

$$\begin{cases} f_{amp} Y_{min} \geq ADC_{min} \\ f_{amp} Y_{max} \leq ADC_{max} \end{cases}$$

Valore minimo e massimo della finestra di ingresso

Valore minimo e massimo del segnale

Ovvero **l'intervallo definito dall'*output range* del sensore, amplificato di f_{amp} , deve essere contenuto nella portata dell'ADC**

Due possibili valori della portata sono:

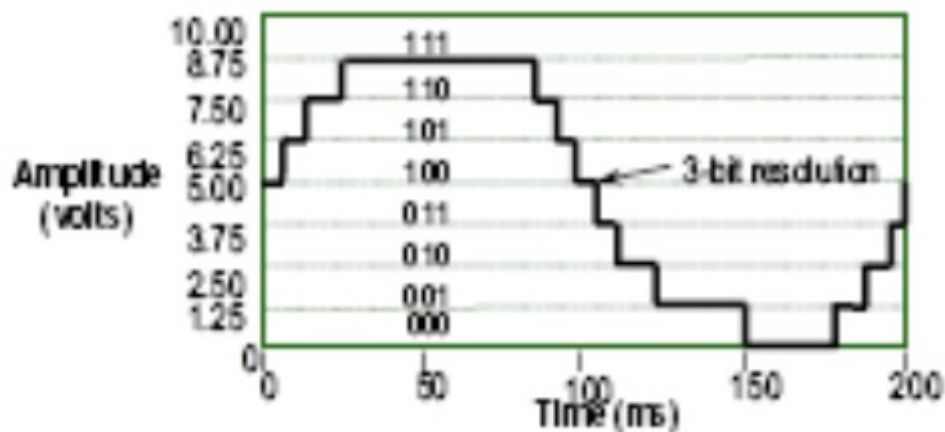
- bipolare (da -10 a +10 V)
- unipolare (da 0 a 10 V).

Usato nella scheda ELVIS per l'esperimento sulla termocoppia: a valori bassi di temperatura del giunto freddo la ddp è negativa (segnali negativi)

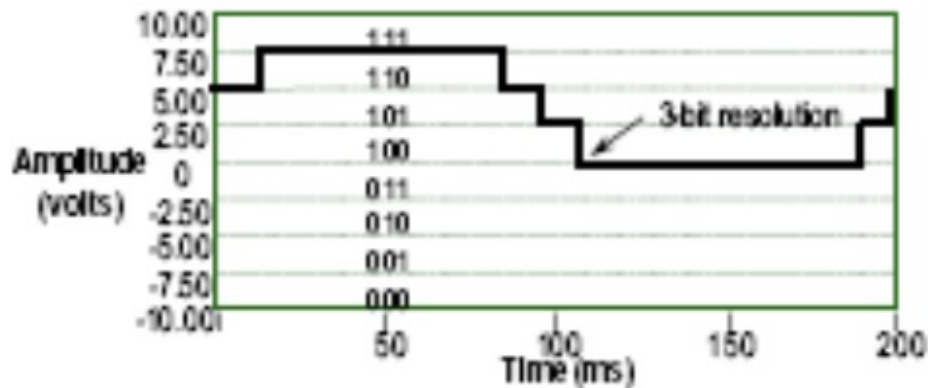
Portata (II)

Le figure mostrano l'importanza di scegliere al meglio la portata di un ADC a 3 bit per un segnale (amplificato) che varia fra 0 e 10 V

Unipolare (scelta ottimale):
tutti i livelli disponibili
sono utilizzati



Bipolare (scelta impropria):
4 livelli rimangono inutilizzati





Code Width e Risoluzione della Misura

- I tre parametri fondamentali: amplificazione f_{amp} , numero di bit (N_{bit}) e **portata** dell'ADC, definiscono la **più piccola variazione** che può essere rivelata nel segnale del sensore: **code width**

$$code\ width = \frac{portata}{f_{amp} \cdot 2^{N_{bit}}}$$

- Unitamente alla sensibilità del sensore, la code width ci permette di calcolare la **risoluzione** nella misura della grandezza fisica:

$$risoluzione = \frac{code\ width}{sensibilità} = \frac{portata}{f_{amp} \cdot 2^{N_{bit}} \cdot F'(x)}$$

Stainless Steel Temperature Probe

(Order Code TMP-BTA)

The Stainless Steel Temperature Probe can be used as a thermometer for experiments in chemistry, physics, biology, Earth science, environmental science, and more.



data sheet del
termistore Vernier

Da 10 a 16 bit guadagno
fattore $2^6 = 64$
 $0.12/64=0.002$

16-bit resolution
 $0.002\text{ }^{\circ}\text{C}$ (0 to $40\text{ }^{\circ}\text{C}$)
 $0.006\text{ }^{\circ}\text{C}$ (40 to $100\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Specifications

Temperature range	-40 to 135°C (-40 to 275°F)
Maximum temperature that the sensor can tolerate without damage	150°C
13-bit resolution	0.09°C (-40 to 0°C) 0.02°C (0 to 40°C) 0.05°C (40 to 100°C) 0.13°C (100 to 135°C)
12-bit resolution	0.17°C (-40 to 0°C) 0.03°C (0 to 40°C) 0.1°C (40 to 100°C) 0.25°C (100 to 135°C)
10-bit resolution	0.68°C (-40 to 0°C) 0.12°C (0 to 40°C) 0.4°C (40 to 100°C) 1.0°C (100 to 135°C)
Temperature sensor	20 k Ω NTC Thermistor
Accuracy	$\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ at 0°C , $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ at 100°C
Response time (time for 90% change in reading)	10 seconds (in water, with stirring) 400 seconds (in still air) 90 seconds (in moving air)
Probe dimensions	Probe length (handle plus body): 15.5 cm Stainless steel body: length 10.5 cm, diameter 4.0 mm Probe handle: length 5.0 cm, diameter 1.25 cm

Da 10 a 12 bit
guadagno fattore $2^2 = 4$
 $0.12/4=0.03$



Termocoppia + Elvis II

Per la misura della tensione ai capi della termocoppia si utilizza il multimetro digitale inserito in ELVIS II, con le seguenti specifiche:

Amplificazione $f_{amp} = 100$, numero bit $N_{bit} = 18$,
portata: da -10 V a +10 V (20 V)

$$code\ width = \frac{portata}{f_{amp} 2^{N_{bit}}} = \frac{20}{100 \cdot 2^{18}} = 0.8\ \mu V$$

Sapendo che la sensibilità è $40\ \mu V/^{\circ}C$, questo corrisponde a
risoluzione $= 0.8 / 40 = 0.02\ ^{\circ}C$



Accuratezza - Elvis II

- Il concetto di accuratezza si estende a tutti i componenti della catena.
- Nel nostro caso dobbiamo consultare le specifiche di accuratezza del multimetro digitale di ELVIS che stiamo usando.
- Dal manuale di specifiche di ELVIS leggiamo che, nelle condizioni riportate in precedenza, ovvero con amplificazione 100:

$$\text{accuratezza} = 225 \text{ ppm (lettura)} + 280 \text{ ppm (portata/amplificazione)}$$

(ppm= parti per milione)



Accuratezza - Elvis II (II)

$$\text{Accuratezza} = 225 \cdot 10^{-6}(\text{lettura}) + 280 \cdot 10^{-6}(\text{portata/amplificazione})$$

Avendo letture di alcuni mV, il primo termine è trascurabile.

$$\text{Poiché portata/amplificazione} = \pm \frac{10V}{100} = \pm 100mV$$

$$\text{Accuratezza} = 280 \cdot 10^{-6} (\pm 100 \text{ mV}) = \pm 28 \mu V$$

Circa 35 volte maggiore del code width

Adotteremo quindi un **errore di $\pm 30 \mu V$ sulle misure di tensione** ai capi della termocoppia

Esercizio 1

La grandezza fisica y è misurata indirettamente a partire dalle grandezze x_1 , x_2 e x_3 in base alla seguente relazione, nella quale i parametri $A = 70 \text{ m}^2$ e $a = 0.1389 \text{ }^\circ\text{C}^{-2}$ sono noti con incertezza trascurabile:

$$y = \frac{A e^{-a x_1^2}}{(x_2 - x_3)}$$

In un esperimento si misurano $x_1 = (1.20 \pm \Delta x_1) \text{ }^\circ\text{C}$, $x_2 = (22.0 \pm 0.2) \text{ m}$ e $x_3 = (2.0 \pm 0.2) \text{ m}$. La misura di x_1 è fatta per mezzo di un sensore di temperatura di sensibilità $= 0.636 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ il cui segnale di uscita passa attraverso un sistema DAQ a 16 bit, con amplificazione $f_{\text{amp}} = 2$ e range $= 10 \text{ V}$.
Assumendo che Δx_1 sia uguale alla risoluzione del sensore di temperatura (arrotondare a due cifre significative), determinare y ed il suo errore Δy sommando linearmente le incertezze.