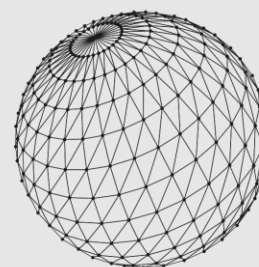
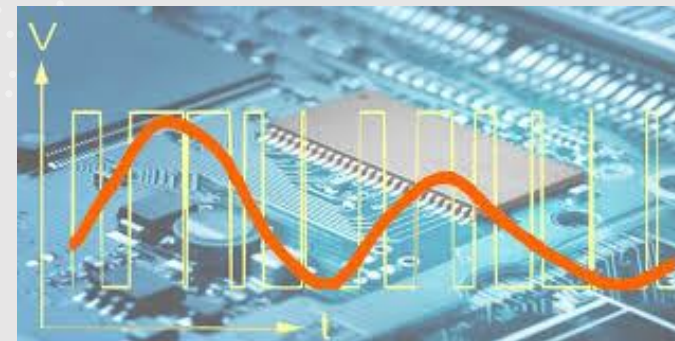


# CONDIZIONAMENTO DEI SEGNALI

## Lezione 1



**ITS ACADEMY**  
MECCATRONICO VENETO  
ISTITUTO TECNOLOGICO SUPERIORE

# PRESENTAZIONE

## Domenico Verlato

Ingegnere Meccatronico formato all'università degli studi di Padova.  
Attualmente libero professionista e docente ITS. Specializzato in automazione e robotica.

Contatti: [ingverlato@gmail.com](mailto:ingverlato@gmail.com)



*Piacere Franco Mascotte.  
Per qualsiasi dubbio, info,  
chiarimento contattami pure.*

Per questo corso il materiale lo trovate su Google Classroom:

<https://classroom.google.com/u/2/c/NjcyODgxNDg0MzU2>

Codice corso: **53e7kq2**

# PROGRAMMA DEL CORSO

## ARGOMENTI DI TEORIA

- Sistema di sensing: funzioni, collocazione, importanza
- Caratteristiche del blocco di condizionamento
- Ruolo dell'ADC
- Dimensionamento del sistema di sensing



## ESERCITAZIONI

- Utilizzo del software Lab-view per estrarre dati e verificare il corretto dimensionamento del sistema di sensing

# CAPITOLO 0



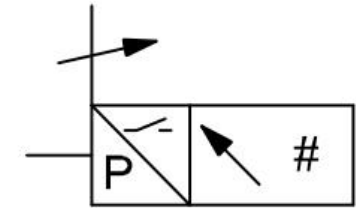
**Prima di cominciare, una domanda...**

# Quanto è la pressione?

Ipotizziamo di avere un sensore in grado di rilevare pressioni che vanno da 0 bar di minima a 5 bar di massima.

Questo sensore restituisce il dato al plc tramite segnale analogico.

Il plc lo converto come numero intero (16 bit).



Se il numero letto in questo momento attualmente è: 22900.

A quanto risale la pressione effettivamente misurata?

# CAPITOLO 1



## **SISTEMA DI SENSING e concetto di MISURA**

# SISTEMA DI SENSING

## Che cos'è?

E' un apparato che ha il compito di **rilevare** e **misurare** la grandezza fisica desiderata. Il suo output è una **STIMA** della grandezza fisica in input.

### Grandezza fisica

- Temperatura
- Corrente
- Posizione
- Viscosità
- ...

 $x$  $\hat{x}$ 

Stima della  
grandezza fisica

# SISTEMA DI SENSING

## Scopo

Effettuare una **MISURAZIONE** che si avvicini il più possibile al valore reale della grandezza misurata.

## Caratteristica principale

Ci si aspetta inoltre che il sistema di sensing sia **robusto** a sufficienza, affinché l'elaborazione dei dati consenta di avere sempre lo stesso OUTPUT a parità di grandezza misurata.



# MISURAZIONE

## Definizione

Con **MISURAZIONE** si intende l'attività svolta per assegnare ad una determinata proprietà fisica X, nota come misurando (colui che viene misurato), un INTERVALLO DI VALORI detto risultato della misurazione, o più semplicemente **MISURA**

Qualsiasi strumento di misura fornisce un **intervallo di incertezza**, entro cui dichiara la presenza del valore atteso (ossia del valore vero della misura). Non esiste alcuno strumento in grado di fornire soltanto la misura esatta!!

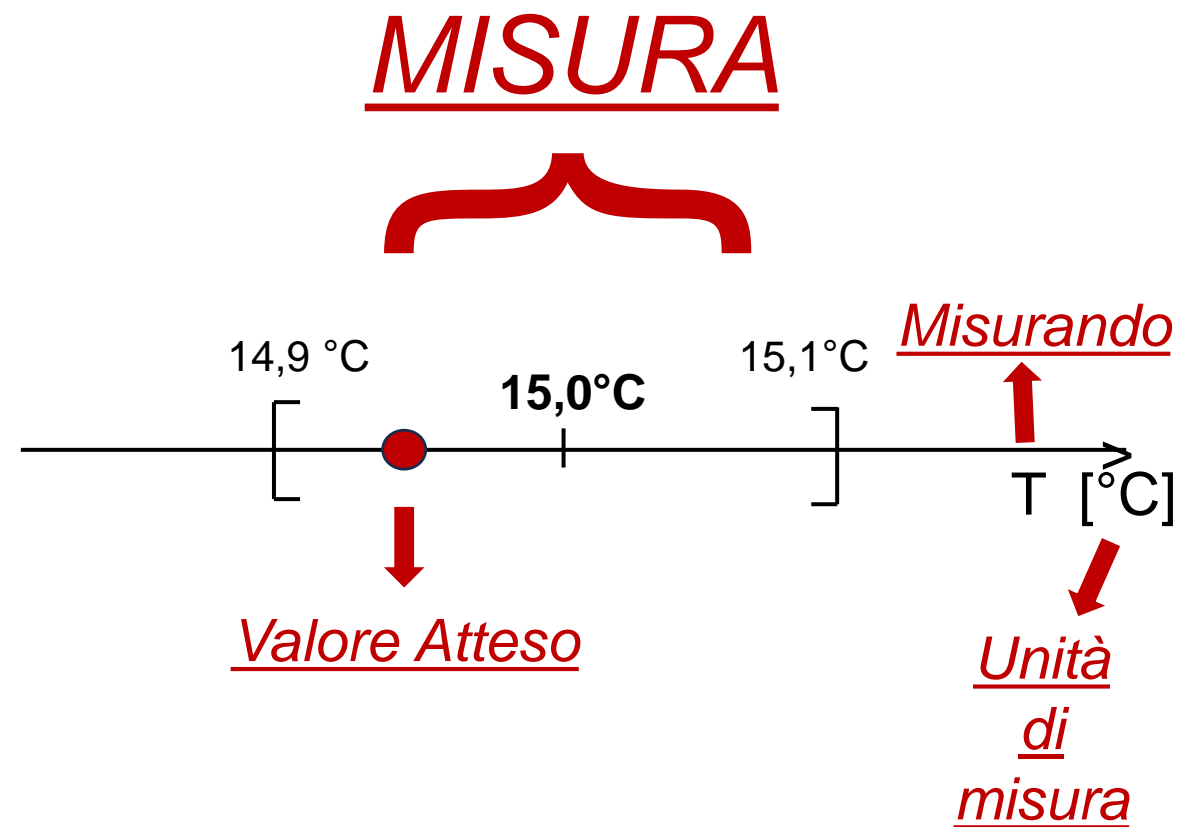


# MISURAZIONE

## Esempio: Misurazione di temperatura

### Specifiche tecniche

Range di misura	-40 ... +250 °C
Risoluzione	0,1 °C
Precisione	±1,5 °C ±2 °C
Sensore	NTC
Punta del sensore	Acciaio inox, Ø 3,8 mm, lungh.= 120 mm, punta
Tempo di risposta	2 secondi
Temperatura operativa	0 ... +50 °C
Temperatura di stoccaggio	-10 ... +60 °C
Display	LCD
Alimentazione	1 x Batteria da 1,5V LR44
Durata operativa della batteria	Ca. 5000 ore
Dimensioni	211 x 19 x 32 mm
Materiale della struttura	ABS
Peso	Ca. 130 g
Grado di protezione	IP 65



# MISURAZIONE



Sfondiamo addirittura i muri della statistica....

Si assicura, con una certa probabilità nota, che il valore  $X$ , cioè il valore atteso, si trovi all'interno della misura. La sua posizione esatta, rimane però incognita.

$$\hat{X} = \bar{X} \pm U_x$$

Stima della misura = Valore centrale  $\pm$  Incertezza

o

Valore numerico

# MISURAZIONE

Si può quindi riassumere che:



# INCERTEZZA DI MISURA

## Definizione:

E' quella grandezza che definisce il grado di **QUALITA'** della misurazione. Infatti minore è  $U_x$  e più stretto è l'intervallo visto sopra.

$< U_x$   **STRUMENTO  
PIU' ACCURATO**

L'incertezza è dovuta a delle NON IDEALITA' dello strumento o della procedura di misurazione. E' il costruttore che fornisce questo dato.

# MISURAZIONE

Si può quindi riassumere che:



# UNITA' DI MISURA

Gli **STANDARD** di misura accettati sono molteplici e sono molteplici anche gli organismi appositi che custodiscono i campioni di riferimento.

Tuttavia il **SISTEMA INTERNAZIONALE** è il sistema più diffuso al mondo, nel quale vi sono 7 unità di misura fondamentali:

- |                         |                  |
|-------------------------|------------------|
| 1. Lunghezza            | metro (m)        |
| 2. Massa                | chilogrammo (kg) |
| 3. Tempo                | secondi (s)      |
| 4. Corrente elettrica   | Ampere (A)       |
| 5. Temperatura          | Kelvin (K)       |
| 6. Quantità di sostanza | mole (mol)       |
| 7. Intensità luminosa   | candela (cd)     |

Da queste derivano poi le unità di misura delle grandezze derivate, come ad esempio: la frequenza, la resistenza, etc...

# CAPITOLO 2



## **Sistema di sensing in un sistema meccatronico retro-azionato**

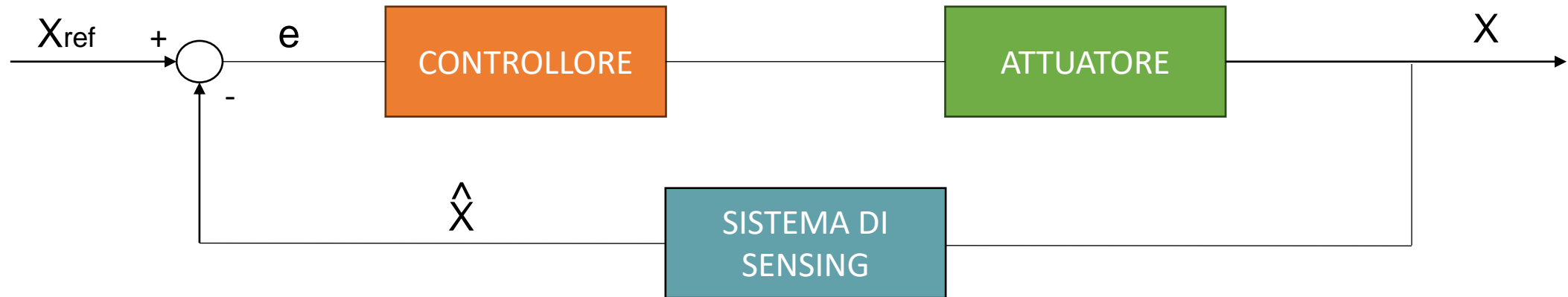


# SISTEMA MECCATRONICO

## Definizione:

E' un sistema di automazione, quasi sempre retroazionato, il cui scopo è quello di produrre delle azioni, sulla base di precisi riferimenti che gli vengono forniti.

Lo schema che lo rappresenta è il seguente:



# SISTEMA MECCATRONICO

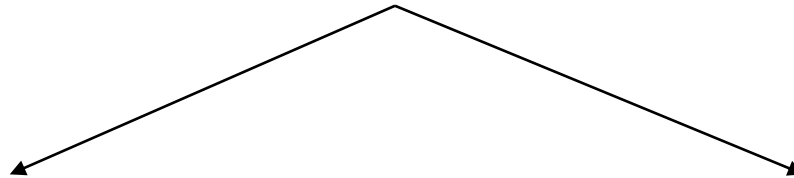
## Componenti:

- **CONTROLLORE** = è il PLC della macchina, utilizzato per coordinare e sequenziare le azioni dei diversi organi. E' il 'cervello' della macchina, usato per calcolare traiettorie, gestire camme, sincronizzare operazioni etc...
- **ATTUATORE** = sono tutte quelle componenti meccaniche, tipicamente dei motori, che trasformano l'energia elettrica in energia meccanica, consentendo alla macchina di compiere fisicamente l'azione per la quale è stata progettata
- **SISTEMA DI SENSIG** = è quella parte della macchina che rileva le azioni eseguite dagli attuatori, comunicando al controllore dati quali: posizione, temperatura, correnti, velocità, frequenze, viscosità etc...

# SISTEMA MECCATRONICO

## Esempio:

- Ipotizzo che venga dato un riferimento di posizione ad un motore.
- Motore si muove
- Encoder misura la posizione reale
- $\hat{X}$  viene utilizzato per calcolare l'errore  $e$
- Errore  $e$  utilizzato da plc per corregge il posizionamento



Caso con misura corretta

Caso con misura errata

# SISTEMA MECCATRONICO

## Principio di funzionamento:

1. L'operatore impartisce un comando alla macchina, indicato con  $X_{ref}$ , il quale viene elaborato dal plc.
2. Plc elabora questo dato e impartisce un comando agli attuatori
3. Attuatori eseguono il comando, il cui effetto è indicato con  $X$
4. Nel mentre il comando viene eseguito dagli attuatori, il sistema di sensing **monitora** l'andamento di  $X$  e lo riporta al plc.
5. Plc se nota che il comando non viene eseguito nei modi o nei tempi previsti attua delle misure compensative per migliorare il comando in esecuzione.



# SISTEMA MECCATRONICO



## **RUOLO CHIAVE DEL SISTEMA DI SENSING:**

*Misura una grandezza proveniente dal mondo fisico e la trasforma in un segnale elettrico per il plc. E' fondamentale che la misura arrivi nei tempi e nei modi previsti. Se la misura è errata, o lo strumento è tarato male, o il dato viene fornito in ritardo, la macchina non si comporterà nel modo desiderato.*

# SISTEMA MECCATRONICO

Un errore nel sistema di sensing si trasforma in un errore macchina nel raggiungimento dell'obiettivo  $X$ .

Vale infatti che:

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

*Idealmente, se il sistema di sensing è privo di errore:*

$$\hat{X} = X + \cancel{e} = 0$$

# BREAK - ESERCIZIO



Calcolare l'equazione della retta passante per i punti  $A(3; 3)$   $B(5; 7)$ .  
Dove tale retta incontra l'asse delle  $y$ ?  
I punti  $C(1; 1)$  e  $D(4; 5)$  appartengono alla retta?

# CORREZIONE ESERCIZIO



Calcolare l'equazione della retta passante per i punti  $A(3; 3)$   $B(5; 7)$ .  
Dove tale retta incontra l'asse delle  $y$ ?  
I punti  $C(1; 1)$  e  $D(4; 5)$  appartengono alla retta?



# CAPITOLO 3



## Introduzione a LABVIEW

# CHE COS'È LABVIEW?



LabVIEW è un ambiente di programmazione grafico in grado di sviluppare codice compilabile



Il codice compilabile è utilizzabile all'interno di diversi OS e di diversi dispositivi (pc, disp. portatili, disp. embedded)



Gli ambiti di applicazione sono i più diversi: misura, test, automazione

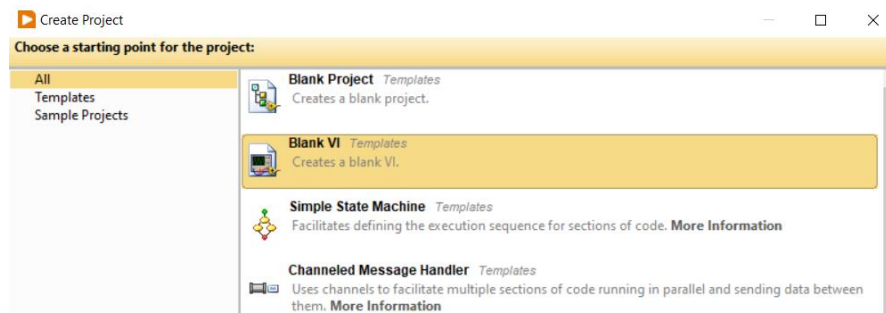
# CREARE UN NUOVO PROGETTO

Dal menù di start è  
necessario avviare  
LabVIEW



NI LabVIEW 2023 Q1 (32-bit)

App



Selezionare «Create  
Project» e successivamente  
«Blank VI»

# VI -> VIRTUAL INSTRUMENT

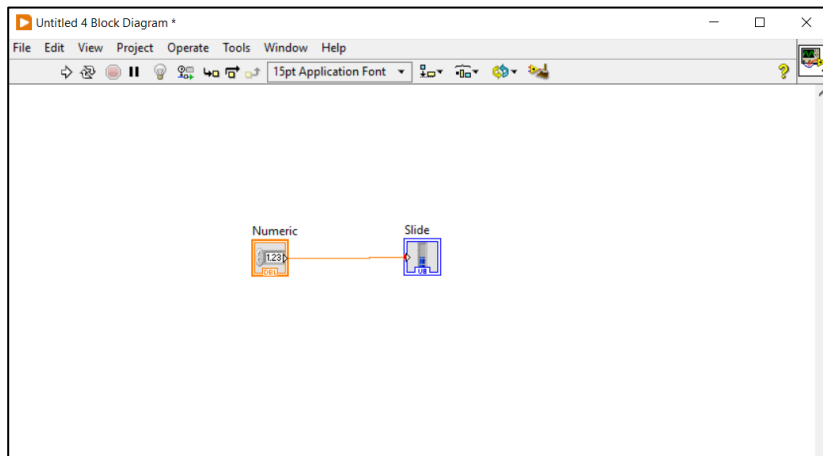
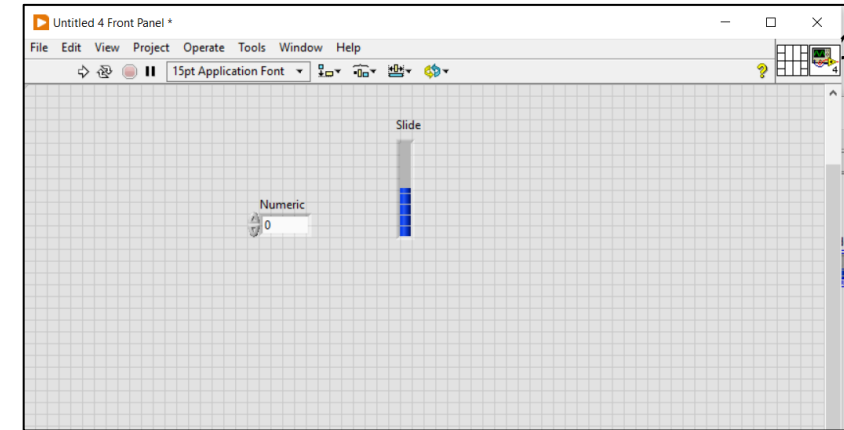
Un VI è uno strumento virtuale che permette di replicare il funzionamento di un dispositivo fisico e delle sue funzionalità. Presenta sempre due FINESTRE:



# FRONT PANEL e BLOCK DIAGRAM

**FRONT PANEL** → Interfaccia utente (UI)

- **Controlli** = Inputs
- **Indicatori** = Outputs



**BLOCK DIAGRAM** → contiene il codice grafico

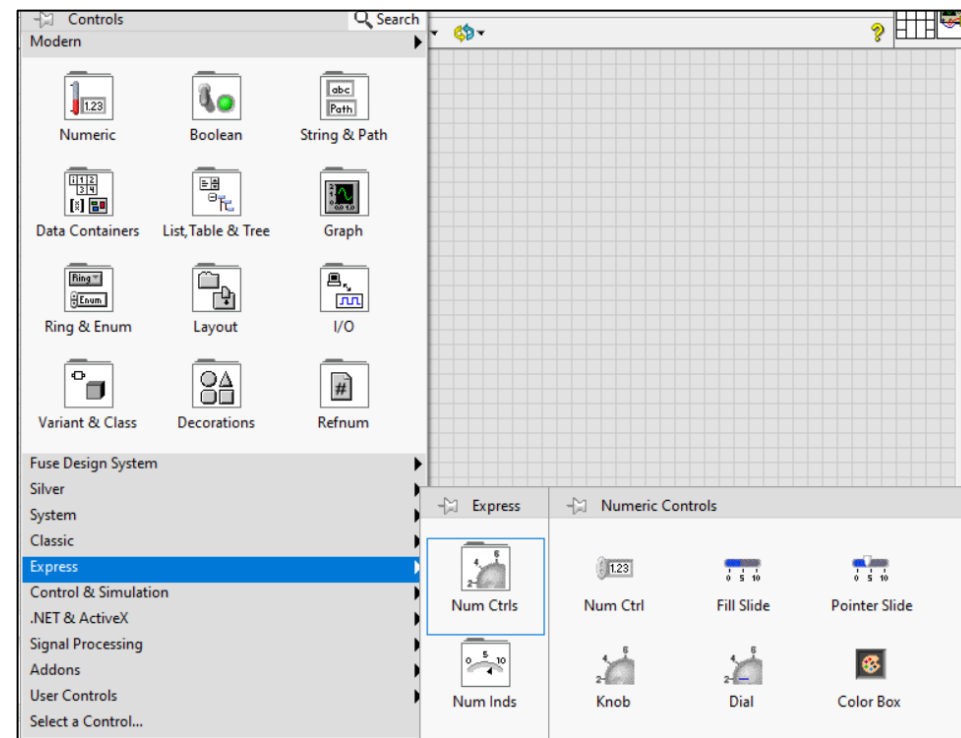
- I dati scorrono attraverso i fili dai controlli verso gli indicatori, passando attraverso le funzioni
- I blocchi eseguono secondo il principio del «data flow» (flusso di dati)

# FRONT PANEL: CONTROLS PALETTE

Premendo il tasto destro in un qualsiasi punto del FRONT PANEL è possibile aprire la «Controls Palette» ossia il menù che contiene controlli e indicatori necessari al progetto

Per inserire un **controllo numerico**, ad esempio, è necessario selezionare la palette «Express», la voce «Num Ctrls», il controllo «Num Ctrl»

Per inserire un **indicatore numerico** invece, è necessario selezionare la palette «Express», la voce «Num Inds», l'indicatore «Num Ind»

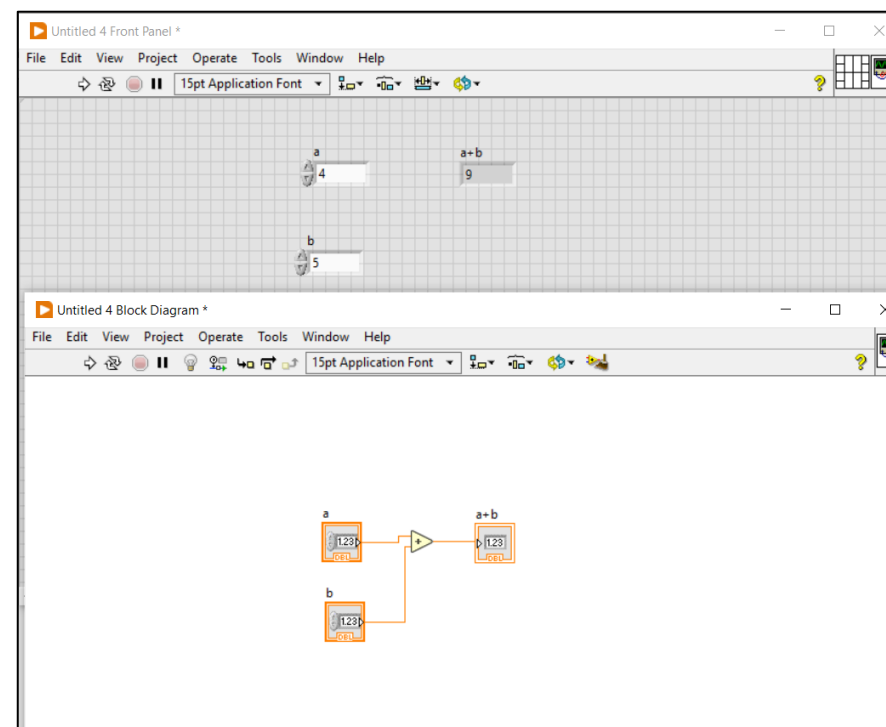


# BLOCK DIAGRAM: FUNCTIONS PALETTE

Premendo il tasto destro in un qualsiasi punto del BLOCK DIAGRAM è possibile aprire la «Functions Palette» ossia il menù che contiene le funzioni e le strutture sottostanti ai controlli e agli indicatori presenti nel Front Panel.

Solitamente, quando vengono creati gli elementi nel Front Panel, le corrispondenti icone vengono create anche nel Block Diagram.

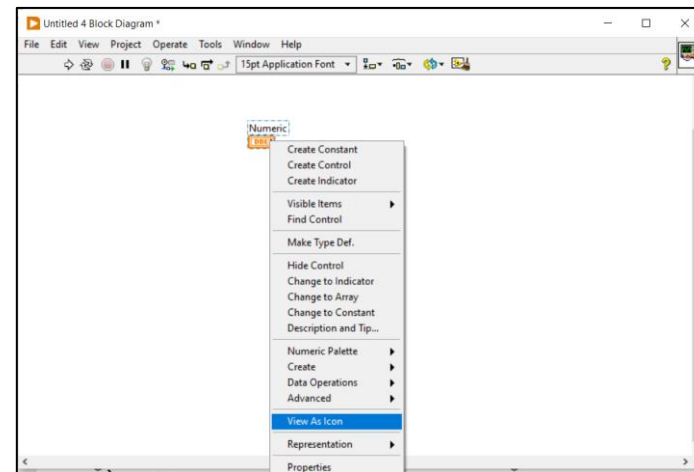
Per aggiungere la «logica» al programma è necessario utilizzare le funzioni presenti. Ad esempio, per fare una somma tra due addendi, si seleziona la paletta «Programming», la voce «Numeric», la voce «Add».



# TERMINALI e COLLEGAMENTI

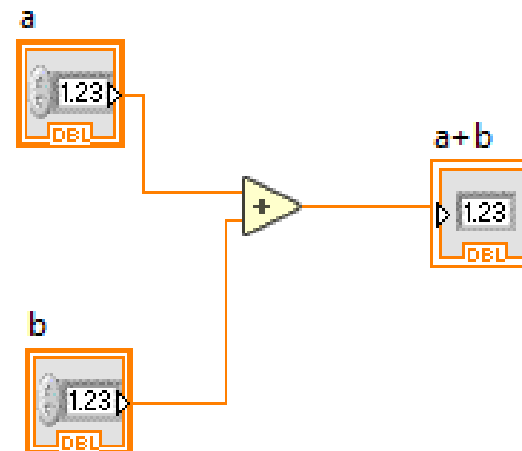
Tutti gli elementi del Front Panel (controlli e indicatori) che compaiono nel Block Diagram vengono detti «Terminali».

È possibile cambiare la modalità di visualizzazione dei terminali cliccando con il tasto destro sul terminale stesso e selezionando la voce «View as Icon».



I collegamenti, detti anche fili, servono a specificare quali sono gli ingressi di un determinato nodo e a quali terminali vengono condotte le uscite.

In poche parole collegano tra loro terminali e nodi del Block Diagram







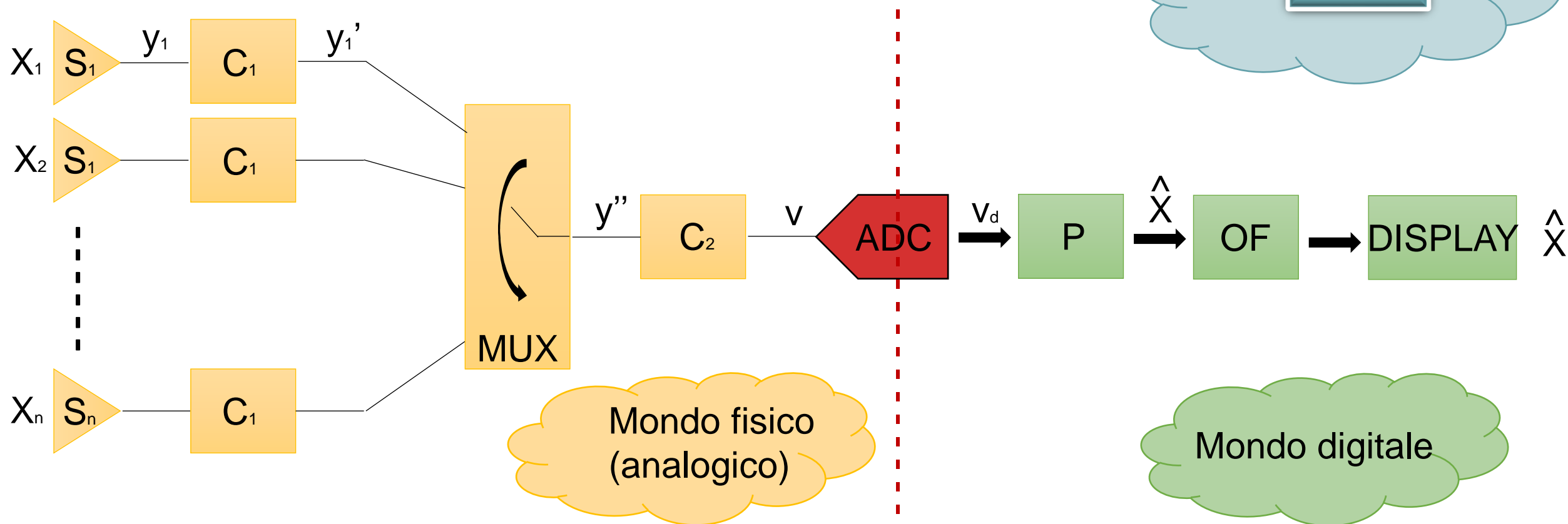
**Fine primo  
tempo**



## Architettura di un sistema di sensing

# ARCHITETTURA DI UN SISTEMA DI SENSING MULTISENSORE

Com'è fatto fisicamente il blocco di sensing analizzato finora?



# ARCHITETTURA DI UN SISTEMA DI SENSING MULTISENSORE

Un sistema di acquisizione dati è un insieme di elementi circuitali atto ad acquisire e misurare informazioni riguardanti una o più grandezze fisiche dell'ambiente. Tali grandezze si trovano in formato **analogico**.

La trasformazione in formato **digitale** avviene per agevolare attività quali:

- post-elaborazione
- memorizzazione
- comunicazione
- visualizzazione

*Poiché si trova ad interfacciarsi con il mondo fisico (sensori si trovano nei posti più disparati) il sistema di acquisizione deve essere robusto alle differenti situazioni ambientali.*

# ARCHITETTURA DI UN SISTEMA DI SENSING MULTISENORE

## ***Scheda Beckhoff EL3064***

<https://www.beckhoff.com/it-it/products/i-o/ethernet-terminals/el3xxx-analog-input/el3064.html>



# CARATTERISTICHE DI UN SISTEMA DI ACQUISIZIONE DATI

1. **VISIBILITA'**: capacità del sistema di rendere visibili all'esterno alcuni parametri di interesse.

Ad esempio: fornire temperatura del motore sul cruscotto dell'auto

2. **SEMPLICITA' e COMPLESSITA' NASCOSTA**: capacità del sistema di apparire all'utilizzatore finale in modo semplice ed intuitivo, nascondendo la sua complessità.

Ad esempio: visualizzare la posizione del motore tramite numero, quando la posizione reale dipende dal rapporto di riduzione e si calcola con onde sinusoidali sfasate tra loro.

# CARATTERISTICHE DI UN SISTEMA DI ACQUISIZIONE DATI

3. **ADATTAMENTO ALL'UTILIZZATORE:** processo di misurazione deve essere compatibile con le caratteristiche dell'utilizzatore. Deve perciò tener conto dell'esperienza, della capacità, delle esigenze e delle attività che l'operatore svolge nel mentre utilizza il sistema.  
Ad esempio: non posso utilizzare un sistema che acquisisce 10 dati/s se quei dati vanno poi maneggiati da un operatore e ne influenzano le attività successive
4. **RIFERIBILITA':** i risultati del sistema devono essere rapportabili con valori noti a campioni appropriati. (concetto base di unità di misura)

# CAPITOLO 5



## Elementi di un sistema di sensing e loro funzioni



# SENSORE



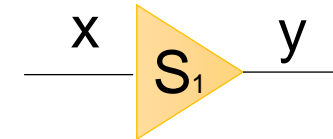
!!Finora si è parlato di sistema di sensing, che non è da confondere con il sensore!!

## SISTEMA DI SENSING



E' un dispositivo che da una stima della grandezza misurata

## SENSORE



Da in uscita una **tensione  $y[V]$** ,  
**legata alla grandezza** in ingresso

esempio

# BLOCCHI DI CONDIZIONAMENTO



Svolgono un ruolo chiave nel sistema di acquisizione. Hanno infatti la funzione di **rendere più utilizzabile il segnale elettrico** del sensore per i successivi blocchi circuitali.

Per fare ciò attuano diverse operazioni, tra le quali:

1. **FILTRAGGIO:** utile ad eliminare il rumore
2. **AMPLIFICAZIONE:** se il segnale che in acquisizione proviene da un'antenna sul tetto di un edificio, affinché raggiunga lo stadio di elaborazione deve essere amplificato. C'è altrimenti il rischio che si perdano pezzi di segnale utile perché troppo debole.

# BLOCCHI DI CONDIZIONAMENTO

3. **ATTENUAZIONE:** un sensore può restituire in uscita un segnale la cui tensione può risultare troppo alta per l'adc che poi lo deve elaborare.
4. **ADATTAMENTO di IMPEDENZA:** spiegato meglio in seguito, è una tecnica utilizzata dal blocco di condizionamento per ottenere un segnale migliore.
5. **TRASLAZIONE IN FREQUENZA:** risulta necessaria in alcune applicazioni. Usata per spostare il range di frequenze del segnale utile lontano da frequenze che possono essere dannose per il segnale stesso.
6. **ESTRAZIONE DEL VALORE EFFICACE:** detto rms

# BLOCCHI DI CONDIZIONAMENTO

- 7. COMPENSAZIONE E MITIGAZIONE DEGLI EFFETTI DI PERTURBAZIONE E DISTORSIONE DEL SEGNALE:** il caso più comune è quando ci sono altri sistemi in prossimità del sistema di sensing. Un esempio si trova soprattutto nei motori: cavo di potenza e cavo encoder molto vicini.

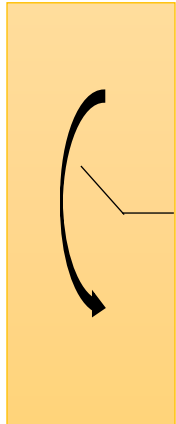
Cavi encoder hanno ordini di grandezza piccoli.  
24V, correnti di mA, potenze di mW



Cavi motore portano 400V con correnti di decine di ampere e potenze di kW

# MULTIPLEXER

Ha il compito di far convergere molte linee di ingresso in un'unica linea di uscita. Prende i segnali dai blocchi di condizionamento  $C_1$  e li restituisce al blocco  $C_2$ . Non ne altera in nessun modo la forma.



Non avrebbe senso creare un sistema di acquisizione per ogni sensore della macchina. Risulterebbe troppo costoso, complesso e con una richiesta di manutenzione molto alta.



Conviene utilizzare un sistema di acquisizione dati unico e sfruttare il MUX, il quale **scansiona in successione** i diversi sensori, oppure **commuta** ogni volta che le linee ne richiedono l'accesso.

# MULTIPLEXER



Nella realtà industriale, ogni scheda dati I/O contiene il proprio MUX. Generalmente queste schede dati sono a 8-12-16 canali. Va considerato che, proprio perché i canali sono tanti, il MUX risulta essere il **COLLO DI BOTTIGLIA** della linea di acquisizione dati! Valutarne sempre attentamente la frequenza di switching.

Se un particolare sensore fornisce i dati ad una frequenza molto alta, va calcolata l'adeguatezza del sistema di acquisizione. Può capitare che, alcuni ingressi della macchina debbano passare per delle schede encoder. Queste infatti hanno frequenze di campionamento molto più elevate



# Esempio



## MODULO INPUT DIGITALI

[https://www.weintek.com/globalw/Product/Product\\_speciR\\_Digital.aspx](https://www.weintek.com/globalw/Product/Product_speciR_Digital.aspx)



## MODULO MOTION

[https://www.weintek.com/globalw/Product/Product\\_speciR\\_MotionControl.aspx](https://www.weintek.com/globalw/Product/Product_speciR_MotionControl.aspx)

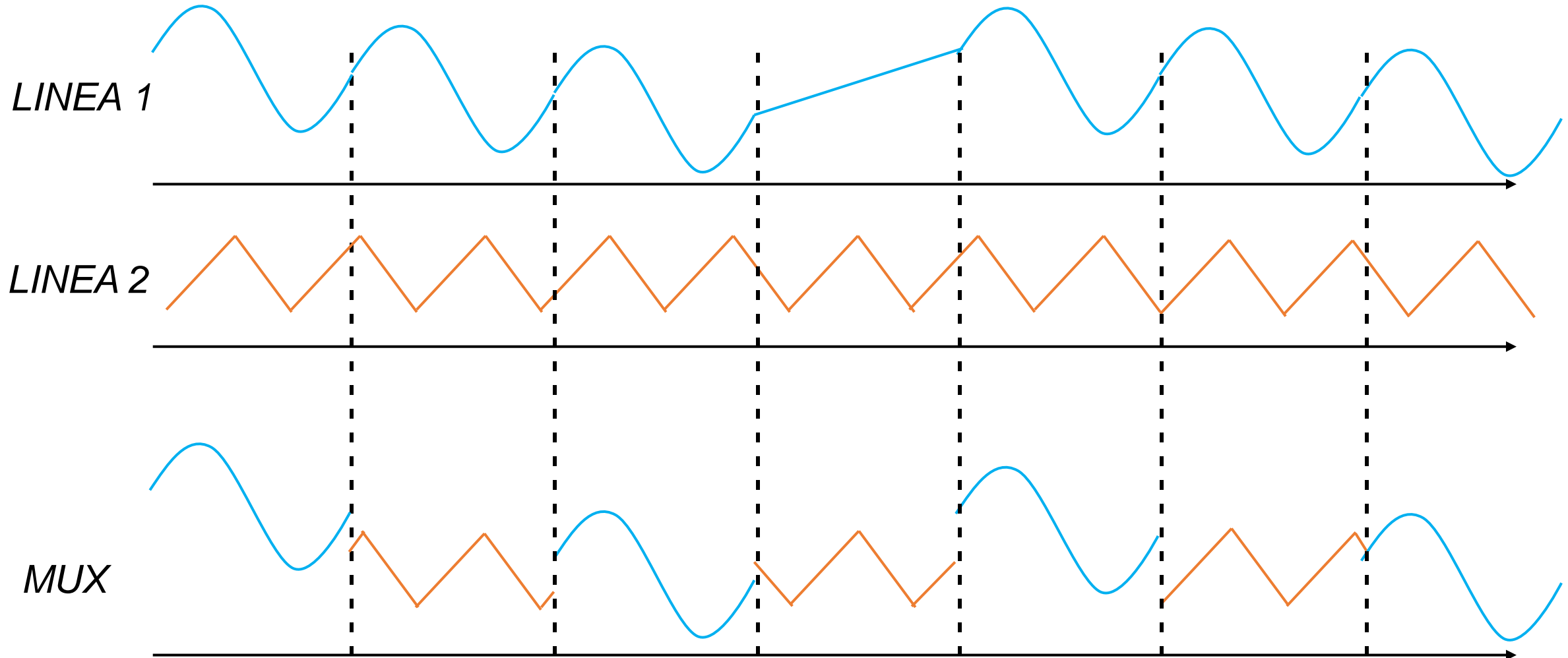
### Digital Input

Number of Inputs	16
Input Logic	Sink or Source
Current Consumption	83mA@5VDC
HIGH Level Input Voltage	15~28VDC
LOW Level Input Voltage	0~5VDC
Response Time	OFF->ON 5 ms
	ON->OFF 1 ms
Input Impedance	5.6 K $\Omega$
Indicators	Red Led Input State
Isolation	Optical Isolation

### Digital Input

Input Logic	Sink Input	Differential Input
Number of Inputs	4	3 (A/B/Z phase )
Input current	24 VDC, 5 mA	Meets the Requirements of ANSI Standards TIA/EIA-485-A
HIGH Level Input Voltage	15~28 VDC	-
LOW Level Input Voltage	0~5 VDC	-
Maximum Input frequency	200KHz	2MHz
Input Impedance	3 K $\Omega$	-
Indicators	Red LED Input State	-

# RAPPRESENTAZIONE GRAFICA DEI SEGNALI IN USCITA DAL MUX





# CONSIDERAZIONI SUL MULTIPLEXER

In questo caso il mux scansiona in successione diversi canali, perciò il segnale in uscita sarà la **COMPOSIZIONE** dei tratti di segnale provenienti da sensori, nell'intervallo di tempo in cui vengono scansionati.



Ciò porta alla **PERDITA** di alcune parti del segnale!  
Solitamente però queste perdite non sono rilevanti in quanto le operazioni di acquisizione sono molto rapide. Va sempre però considerata la frequenza di switch del MUX!

# ADC

## ANALOG TO DIGITAL CONVERTER

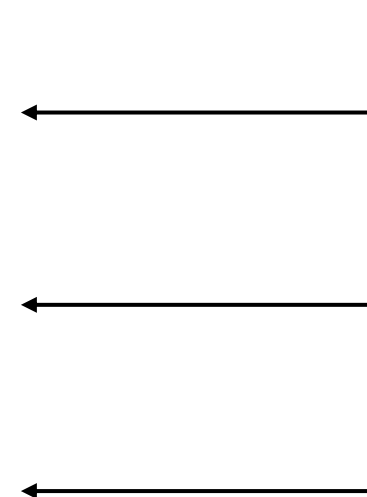


Questo blocco converte il segnale di tensione analogico, presente all'uscita del secondo blocco di condizionamento, in formato digitale. In pratica il segnale viene **discretizzato nel tempo e nelle ampiezze**.

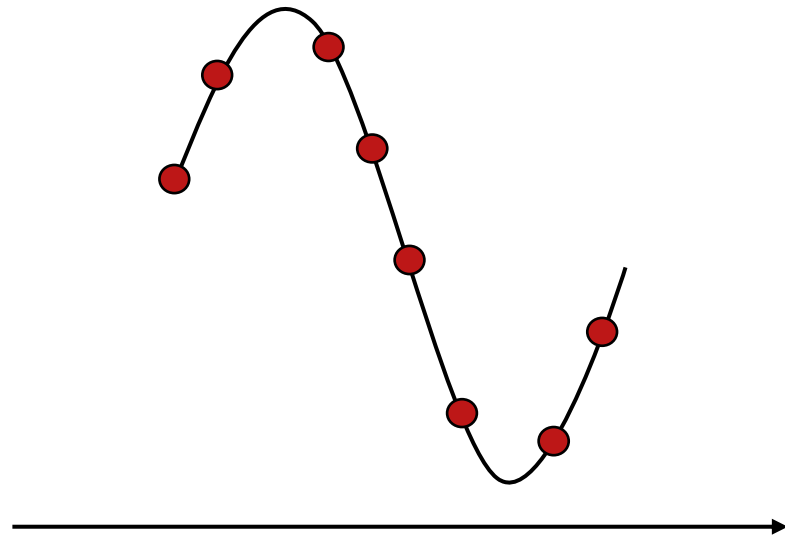
CAMPIONAMENTO (sample)

TENUTA (hold)

QUANTIZZAZIONE



# FORMATO DEL SEGNALE IN USCITA ALL'ADC



Segnale analogico



0	0	1	0	1	0	1	1
1	1	0	1	1	1	1	0
1	0	1	1	1	0	1	0
0	1	0	0	0	1	0	1
0	0	0	1	0	1	0	0
0	0	1	0	0	0	0	1
1	1	0	1	0	1	1	0
0	1	0	0	1	0	0	0
1	1	1	1	1	0	1	0

Segnale in Bit

# FORMATO DEL SEGNALE IN USCITA ALL'ADC

Per poter essere utilizzato, un segnale proveniente dal mondo fisico nel dominio **CONTINUO** del tempo, deve passare al tempo **DISCRETO**.

Ogni sequenza di bit che rappresenta il segnale campionato, riporta i codici corrispondenti ai valori di tensione del segnale stesso. Ogni codice ha una precisa distanza temporale dal precedente. Questa distanza è detta **TEMPO DI CAMPIONAMENTO  $T_s$**

$$\frac{1}{T_s} = f_s$$

# Confronto tra tempo di campionamento e tempo di conversione

Signal voltage	0...10 V
Distributed clocks	–
Internal resistance	> 130 kΩ
Input filter limit frequency	1 kHz
Dielectric strength	max. 30 V
Conversion time	0.625 ms default setting, configurable, multiplex
Resolution	12 bit (16 bit presentation incl. sign)
Measurement error/ uncertainty	< ±0.3 % (relative to full scale value)
Electrical isolation	500 V (E-bus/signal voltage)
Current consumption power contacts	–
Current consumption E-bus	typ. 130 mA
Bit width in the process image	inputs: 16 byte
Special features	activatable FIR/IIR filters, limit value monitoring

**Frequenza di campionamento**

$$T_s = \frac{1}{f_s} = \frac{1}{1000} = 0,001 \text{ s} = 1 \text{ ms}$$

**!! Il tempo di conversione dell'adc è sempre MINORE della frequenza di campionamento!!**



# ULTIMI BLOCCHI DEL SISTEMA DI ACQUISIZIONE

P

## PROCESSING

Elabora il segnale proveniente dall'ADC.  
Compie in sostanza tutte quelle operazioni che vengono fatte post-conversione per ampliare le potenzialità di analisi del segnale.

Ad esempio: segnale sinusoidale dell'encoder viene adeguatamente modificato per fornire la posizione del rotore.

# ULTIMI BLOCCHI DEL SISTEMA DI ACQUISIZIONE



OF

**OUTPUT  
FORMATING**

Converte il segnale digitale in un segnale compatibile con le eventuali uscite da pilotare, quali attuatori e/o display



DISPLAY

Blocco che rappresenta tutti gli elementi con i quali si interfaccia l'utente finale.



**Vi ringrazio per l'attenzione**