



**SAPIENZA**  
UNIVERSITÀ DI ROMA

# Controllori a logica programmabile (PLC)

Automazione

Vincenzo Suraci



## STRUTTURA DEL NUCLEO TEMATICO

1. CONTROLLORI LOGICI
2. RETI LOGICHE E PLC
3. STRUTTURA DEI PLC
  - MEMORIA
  - SEZIONE DI I/O
4. PROGRAMMAZIONE DEI PLC

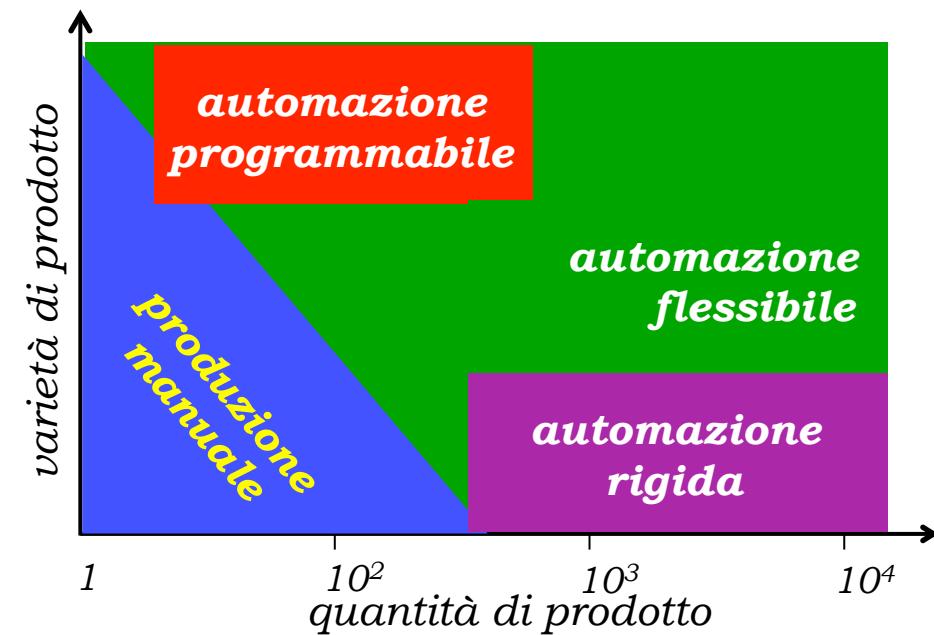
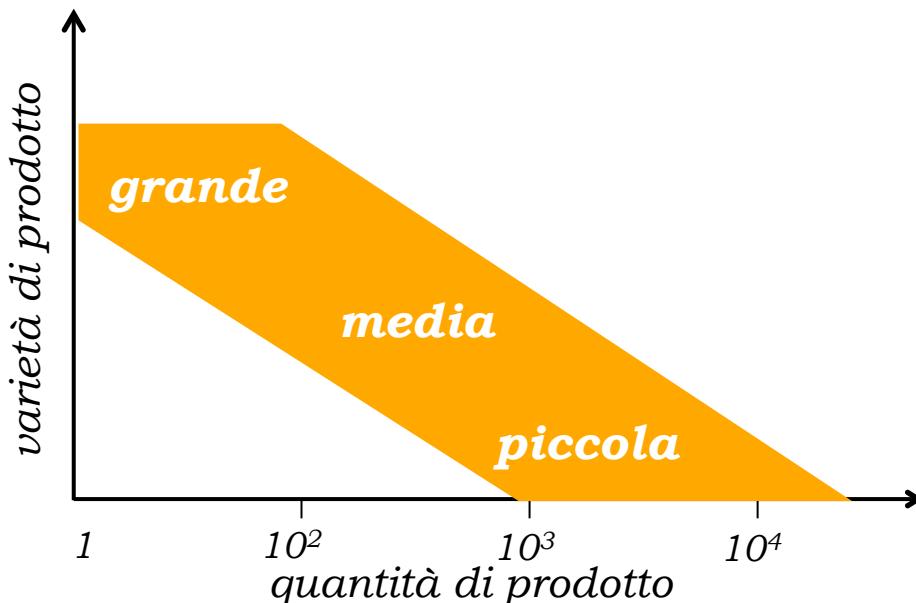


# CONTROLLORI LOGICI



## ETEROGENEITÀ E QUANTITÀ DI PRODOTTO

- La **produttività** di un sistema controllato dipende dalla **QUANTITÀ** del prodotto realizzata per unità di tempo, che a sua volta è collegata alla **ETEROGENEITÀ** della produzione del sistema controllato nonché alle modalità con cui è stata resa operativa l'automazione.





## ORIGINI DEI CONTROLLORI LOGICI

- I controllori logici furono realizzati per poter fare evolvere la **PRODUZIONE DI SERIE DA MANUALE AD AUTOMATIZZATA**
- La loro realizzazione dipendeva dalle tecnologie disponibili
- Attualmente, con lo sviluppo dei circuiti elettronici a larga integrazione e dei dispositivi di elaborazione digitale di tipo dedicato, i controllori logici sono realizzati con **TECNOLOGIE ELETTRONICHE**

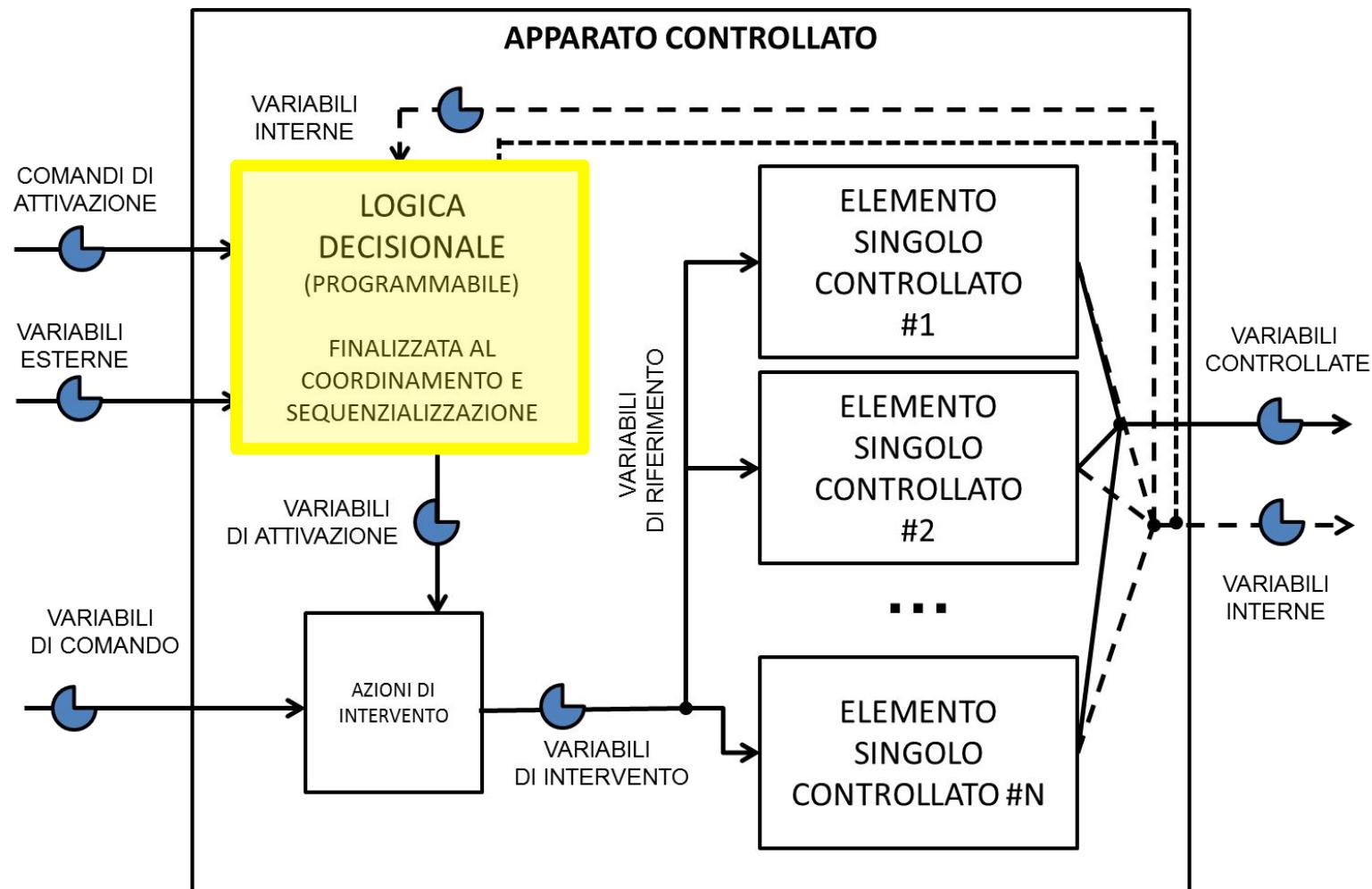


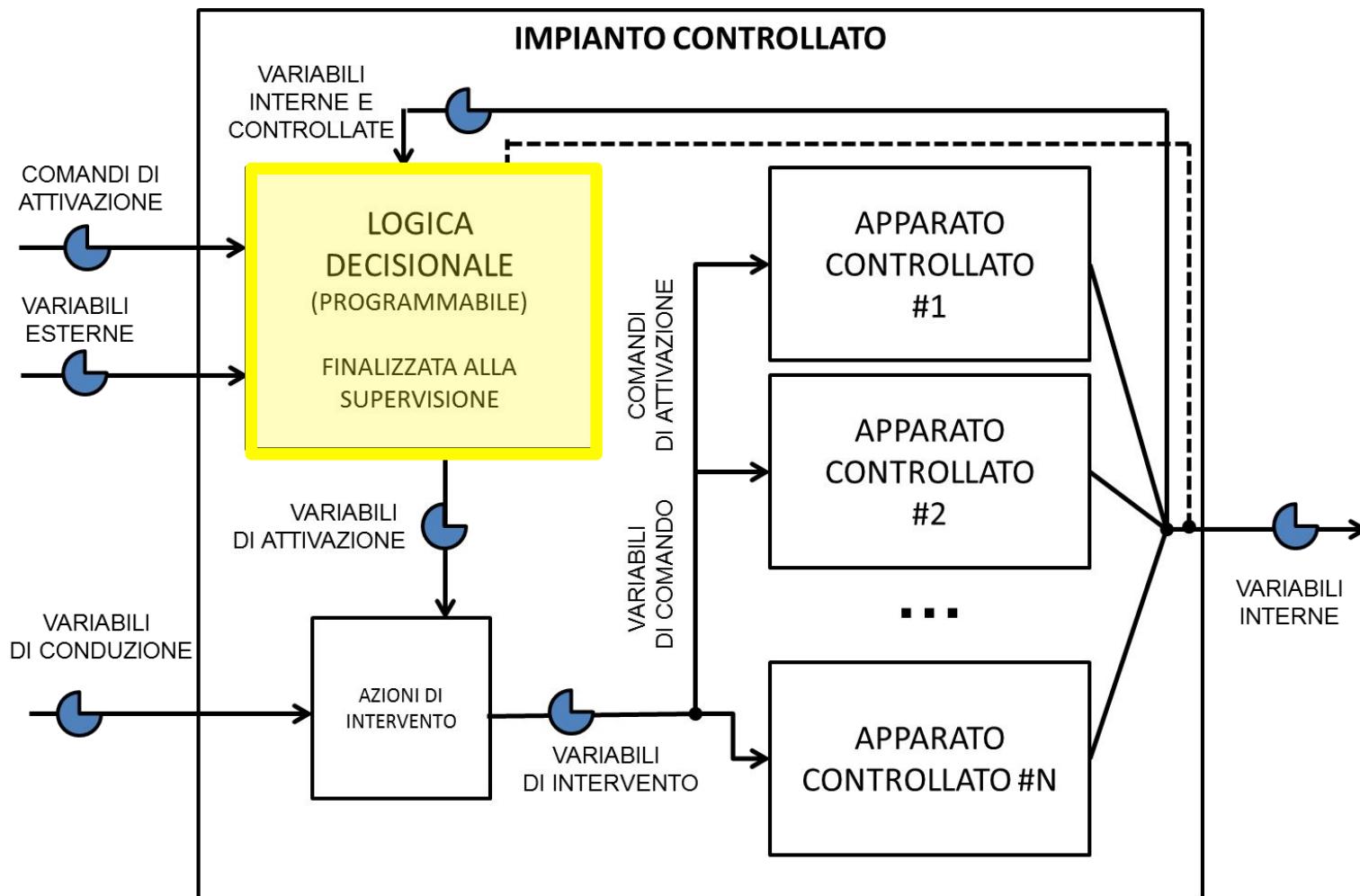
## ORIGINI DEI CONTROLLORI LOGICI

In base alla realizzazione i **controllori logici** possono essere di tipo:

- **CABLATO** quando l'elaborazione della logica di controllo è ottenuta impiegando **RELÈ E PORTE LOGICHE** opportunamente connesse (**RETI LOGICHE**)
- **PROGRAMMABILE** quando l'elaborazione è effettuata sulla base di un **ALGORITMO DI CONTROLLO** espresso tramite un **PROGRAMMA (PLC)**

La differenza sostanziale fra rete logica e controllore a logica programmabile sta nella **RAPIDITÀ DI ELABORAZIONE** e nella **FLESSIBILITÀ DI PROGRAMMAZIONE**







## APPLICAZIONE

Prima della applicazione delle azioni di intervento al sistema da controllare bisogna verificare che sussistano tutte le **CONDIZIONI CHE ASSICURINO IL CORRETTO FUNZIONAMENTO** e il corretto impiego del sistema controllato.

- La verifica viene effettuata sulle **VARIABILI DI CONSENSO**:
  - Comandi di attivazione
  - Variabili controllate
  - Variabili interne
  - Variabili esterne
- Sulla base delle informazioni ricevute, il programma deve fornire come risultato la decisione sotto forma di **VARIABILI DI INTERVENTO**.

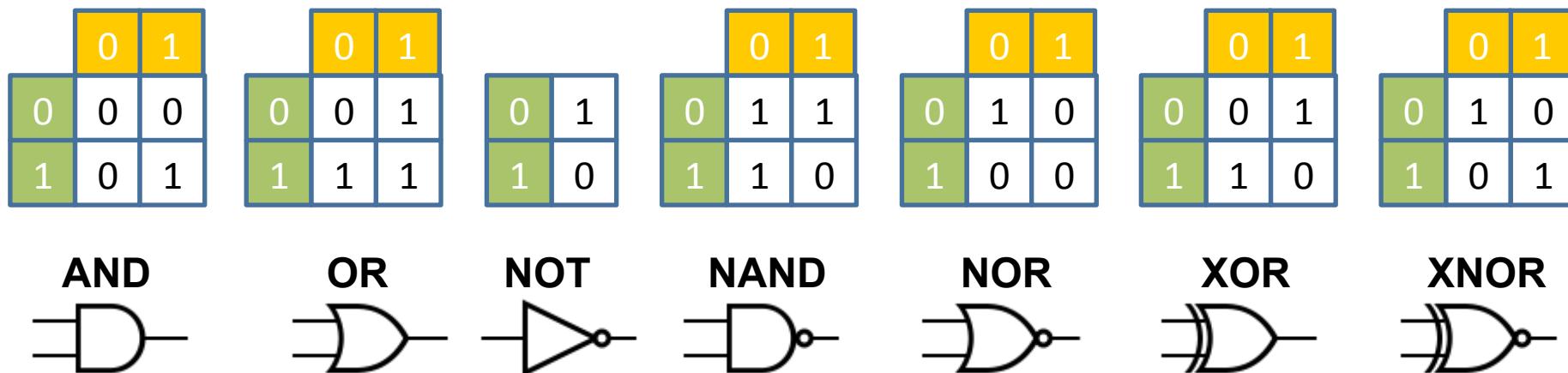


# RETI LOGICHE



## RETI LOGICHE

- le **reti logiche** sono **circuiti di elaborazione di tipo digitale** realizzati con **circuiti elettronici** che svolgono funzioni di tipo logico (AND, OR, NOT, NAND, NOR, XOR, XNOR)
- caratterizzati dal fatto che **in ogni istante i valori delle variabili di uscita dipendono dai valori delle variabili di ingresso e/o di alcune variabili di configurazione**





## CLASSIFICAZIONE DELLE RETI LOGICHE

Le reti logiche sono classificate in:

- **RETI COMBINATORIE**, quando ad ogni istante  $t$  le variabili di uscita sono funzioni solo delle variabili di ingresso presenti nello **stesso istante  $t$** 
$$y(t) = f[u(t)] \quad \forall t \in \mathbb{R}$$
- **RETI SEQUENZIALI**, quando le variabili di uscita ad un certo istante  $t$  dipendono sia dalle variabili di ingresso allo stesso istante  $t$  sia dalle variabili di ingresso **fino all'istante  $t$** 
$$y(t) = f[u(t'), \forall t' \leq t] \quad \forall t \in \mathbb{R}$$



## CLASSIFICAZIONE DELLE RETI LOGICHE

Le reti logiche sono classificate in:

- **RETI SINCRONE**, quando l'elaborazione avviene ad istanti **discreti**, stabiliti dal **clock** di sistema
- **RETI ASINCRONE**, quando l'elaborazione avviene a **flusso continuo**, ovvero il simbolo d'uscita si modifica quando si verifica una modifica del simbolo d'ingresso



## RETI LOGICHE

- Per tutte le variabili coinvolte nelle elaborazioni, i valori da prendere in considerazione sono sempre e solo quelli che vengono raggiunti **DOPO CHE SI È ESAURITO IL TRANSITORIO**
- La **contemporaneità** fra l'applicazione delle variabili di ingresso e la disponibilità delle variabili di uscita **in una rete logica combinatoria è solo teorica** in quanto tutte le elaborazioni richiedono un intervallo di tempo finito per l'esecuzione e tutti i circuiti presentano un transitorio
- Quando tale **TRANSITORIO È TRASCURABILE** rispetto al comportamento dinamico del sistema da controllare, le reti logiche combinatorie possono essere considerate **RETI ISTANTANEE**



# PLC



## DEFINIZIONE DI PLC - NORME IEC 61131.3

- il PLC è un **sistema elettronico a funzionamento digitale**
- destinato all'uso in **ambito industriale**
- utilizza una **memoria programmabile** per l'**archiviazione** interna di istruzioni orientate all'utilizzatore
- implementazione di funzioni **logiche**, di **sequenziamento**, di **temporizzazione**, di **conteggio** e **calcolo aritmetico**
- **controlla**, mediante ingressi ed uscite sia digitali che analogici, vari tipi di sistemi semplici e/o complessi
-



## CARATTERISTICHE DI UN PLC

Il PLC è un controllore con **architettura general-purpose** dedicata alle elaborazioni di tipo logico e idonea ad un ambiente industriale.

Le principali caratteristiche:

- **affidabilità** (ad es. 24/7, ridondanza x3, sicurezza certificata)
- **espandibilità** (sostituzione/aggiunta nel rack di moduli)
- **semplicità di programmazione** (tool sdk + gui, manuali)
- **riusabilità della logica di programma** (linguaggi standard)
- **interoperabilità tra dispositivi** di produttori diversi (i/f hw e sw)



## CONFRONTO FRA RETI LOGICHE E PLC

Le reti logiche possono essere realizzate con relè elettromeccanici oppure con circuiti elettronici a larga integrazione

### PRINCIPALI SVANTAGGI DELLE RETI LOGICHE

- elaborazione di **FUNZIONI LOGICHE DEFINITE RIGIDAMENTE** e collegate al tipo di contatto del relè o allo stato di conduzione dei circuiti elettronici nonché al cablaggio o alla realizzazione del circuito
- **PROGRAMMAZIONE RIGIDA** in quanto ogni modifica del programma comporta modifiche al cablaggio o alla struttura del circuito
- affidabilità dipendente da componenti **ELETTROMECCANICI** o dai **CIRCUITI ELETTRONICI**
- **CONNESSIONI** ai dispositivi di misura e agli attuatori **INGOMBRANTI**, difficili da realizzare e gestire
- **GUASTI** e manomissioni **DIFFICILI DA INDIVIDUARE**



## CONFRONTO FRA RETI LOGICHE E PLC

I PLC hanno le seguenti caratteristiche:

- sono utilizzati per ottenere lo **STESO COMPORTAMENTO** ingresso-uscita di una **rete logica**
- le singole elaborazioni sono eseguite secondo un programma **SERIALE**, istruzione dopo istruzione
- il limite di applicabilità è dato dalla **DURATA DEL TEMPO DI ELABORAZIONE** ed ai **VINCOLI TEMPORALI** imposti dalla necessità di una corretta applicazione dell'azione di controllo



## REALIZZAZIONE – RETI LOGICHE

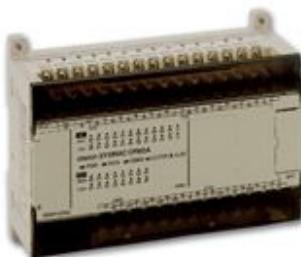
- Le reti logiche vengono oggigiorno realizzate attraverso:
  - **FPGA** (Field Programming Gate Array)
  - **ASIC** (Application Specific Integrated Circuit)





## REALIZZAZIONE – PLC

- Dal punto di vista costruttivo i PLC sono classificati nella maniera seguente:
  - **μPLC**, quando gli **ingressi e le uscite** sono tutte digitali e **inferiori a 64** e la **memoria inferiore a 2 kbyte**
  - **PLC** di medie dimensioni, quando gli **ingressi e le uscite** possono essere **digitali e analogiche**, in numero **inferiore a 512** e la memoria dell'ordine di **decine di kbyte**
  - **PLC** di grandi dimensioni, quando i predetti limiti sono superati
- I **μPLC** sono monoblocco, gli altri componibili a moduli secondo le esigenze



μPLC



PLC MEDI



PLC GRANDI



STRUTTURA  
MODULARE  
DI UN PLC



## ESEMPIO DI INSERIMENTO DI UN PLC IN UN RACK

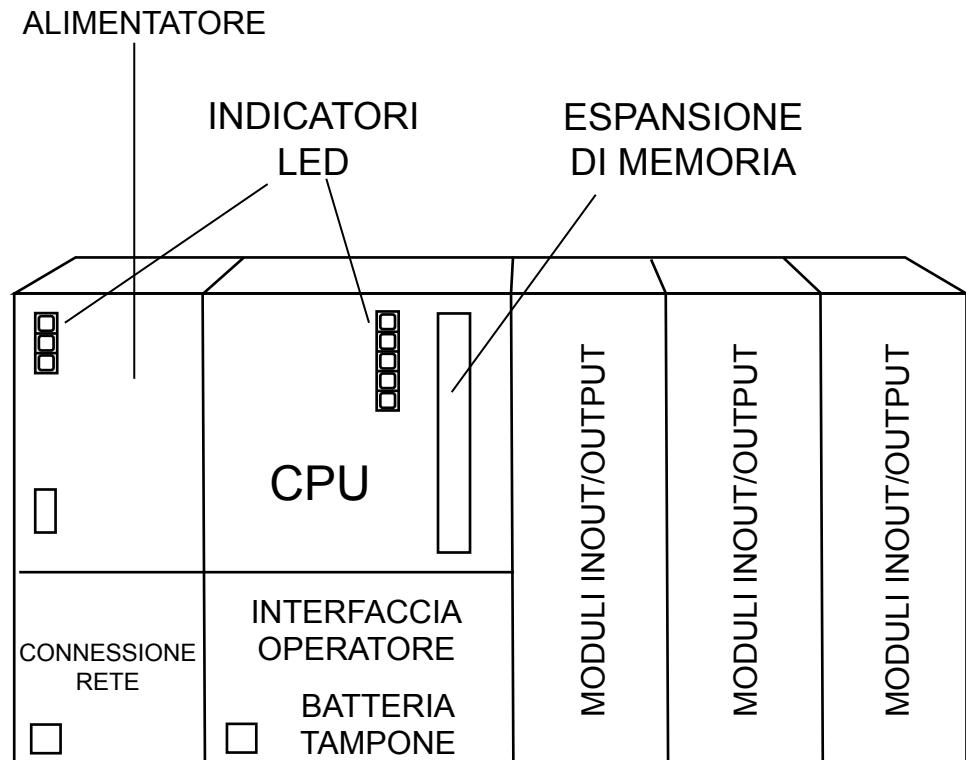




# STRUTTURA DEI PLC

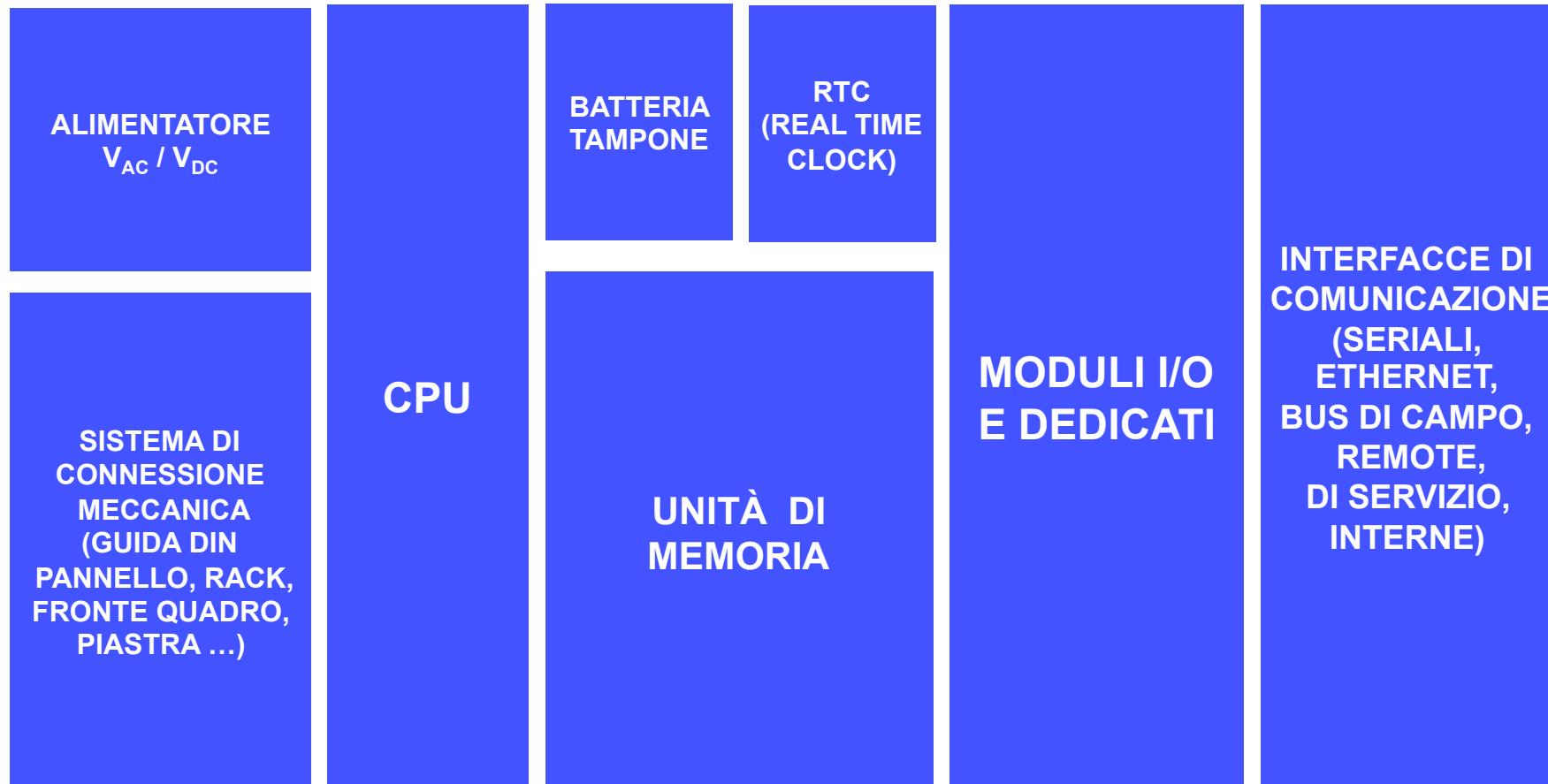


## ASPETTO FISICO DI UN PLC





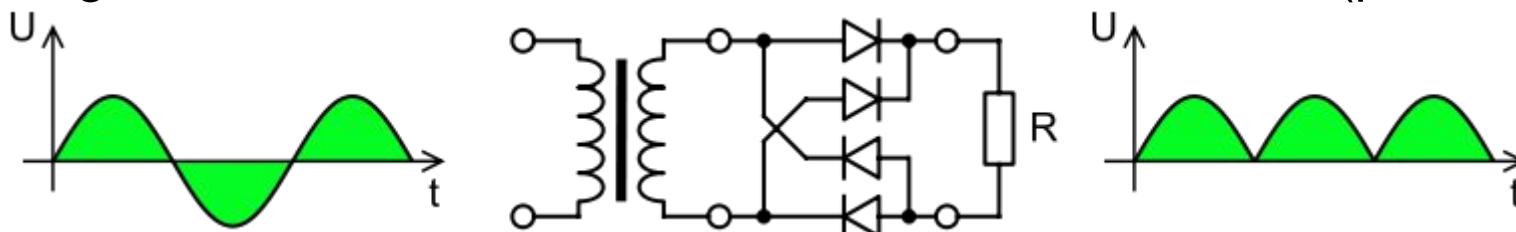
## SCHEMA A BLOCCHI FUNZIONALI DI UN PLC



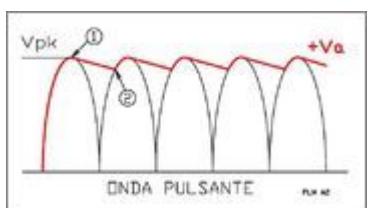


## SEZIONE DI ALIMENTAZIONE

- interfacciamento con i sensori adattato alle possibili caratteristiche del segnale di uscita, che può essere:
  - DC 5 - 12 - 24 – 48 V
  - AC 110 – 280 V
- per i segnali in alternata occorre uno stadio di **rettificazione** (ponte a diodi)



- e uno stadio di **livellamento** (condensatori elettrolitici di livellamento)

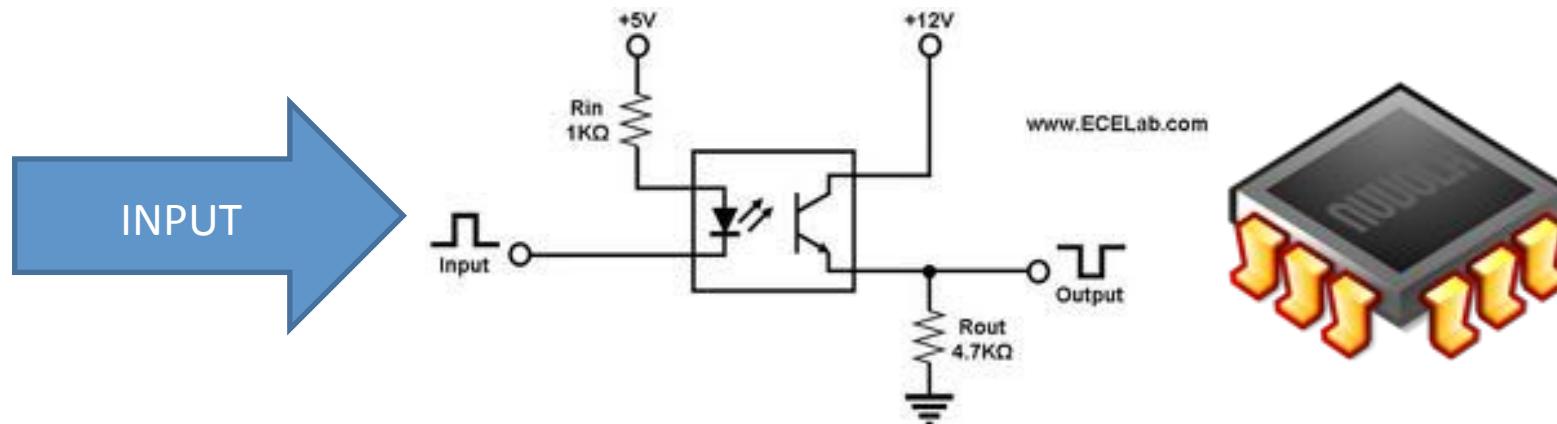




## SEZIONE DI INGRESSO

Gli elementi utilizzati per un efficace interfacciamento con il sistema da controllare sono:

- stadio di isolamento realizzato in genere con **optoisolatori**

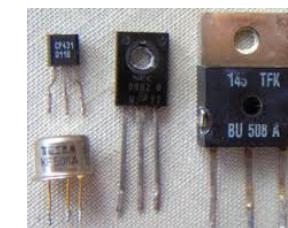
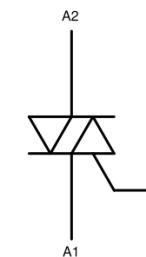
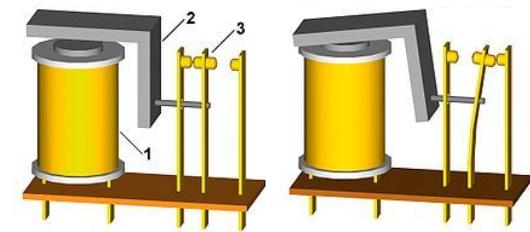


- utilizzazione di **contatti a vite** per velocizzare le procedure di installazione dei moduli
- visualizzazione dello stato per il **debug** del programma di elaborazione (ad es. tramite l'uso di **LED**)



## SEZIONE DI USCITA

- **Relè** - componente elettromeccanico a solenoide, che permette di gestire elevate potenze con piccoli segnali di comando
- **Triac** - è un relè allo stato solido che permette di gestire elevate potenze con piccoli segnali di comando e con limitata dissipazione di calore
- **Transistor** – componente elettronico per amplificazione di piccoli segnali





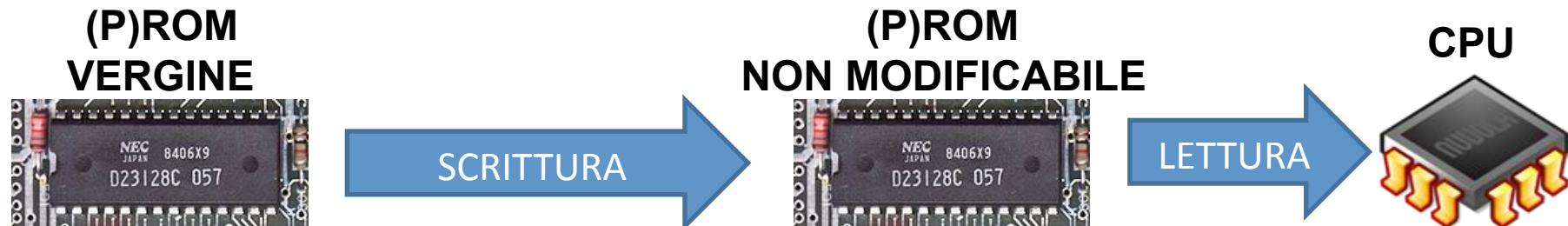
# STRUTTURA DEI PLC MEMORIA



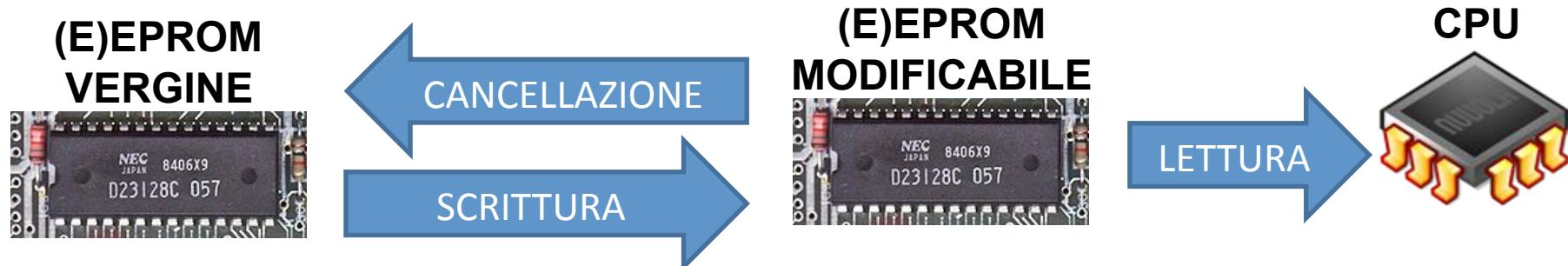
## ORGANIZZAZIONE DELLA MEMORIA NEI PLC

La memoria di un PLC è suddivisa in memoria **ROM** e memoria **RAM**

- memoria ROM (Read Only Memory) o PROM (Programmable ROM) di sola lettura in cui risiede il **sistema operativo** (Basic I/O System - BIOS)



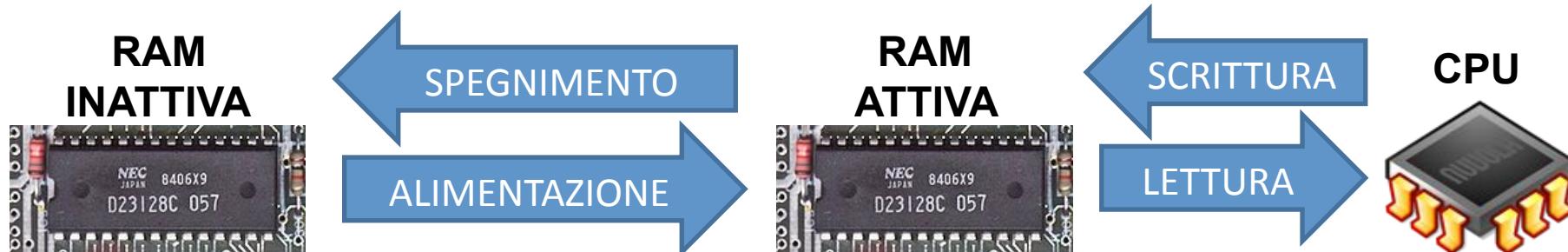
- memoria EPROM (Erasable Programmable ROM), EEPROM (Elettrically EPROM) per contenere il **programma da elaborare**, eventuali costanti e parametri





## ORGANIZZAZIONE DELLA MEMORIA NEI PLC

- Memoria RAM (Random Access Memory) per memorizzare il valore attuale delle variabili e alcune parti del programma scritto in (E)EPROM (caching)





## ORGANIZZAZIONE DELLA MEMORIA NEI PLC

### TIPOLOGIE DI MEMORIE RAM (RANDOM ACCESS MEMORY)

- La memoria RAM può essere letta e **scritta a blocchi** e non necessariamente in serie come la EEPROM.
- La memoria **SRAM** (Static RAM) **una volta scritta entra in idle** e non richiede ulteriore alimentazione. Ma se non alimentata può perdere le informazioni immagazzinate pertanto NON è come una EEPROM. E' **molto veloce, consuma poco**, di semplice progettazione ma di bassa densità e quindi di **alto costo per Mbyte**.
- La memoria **DRAM** (Dynamic RAM) viene **alimentata periodicamente** per evitare la perdita di dati. E' discretamente veloce, è energivora, ma ha una **densità altissima** e quindi meno costosa per Mbyte della SRAM.

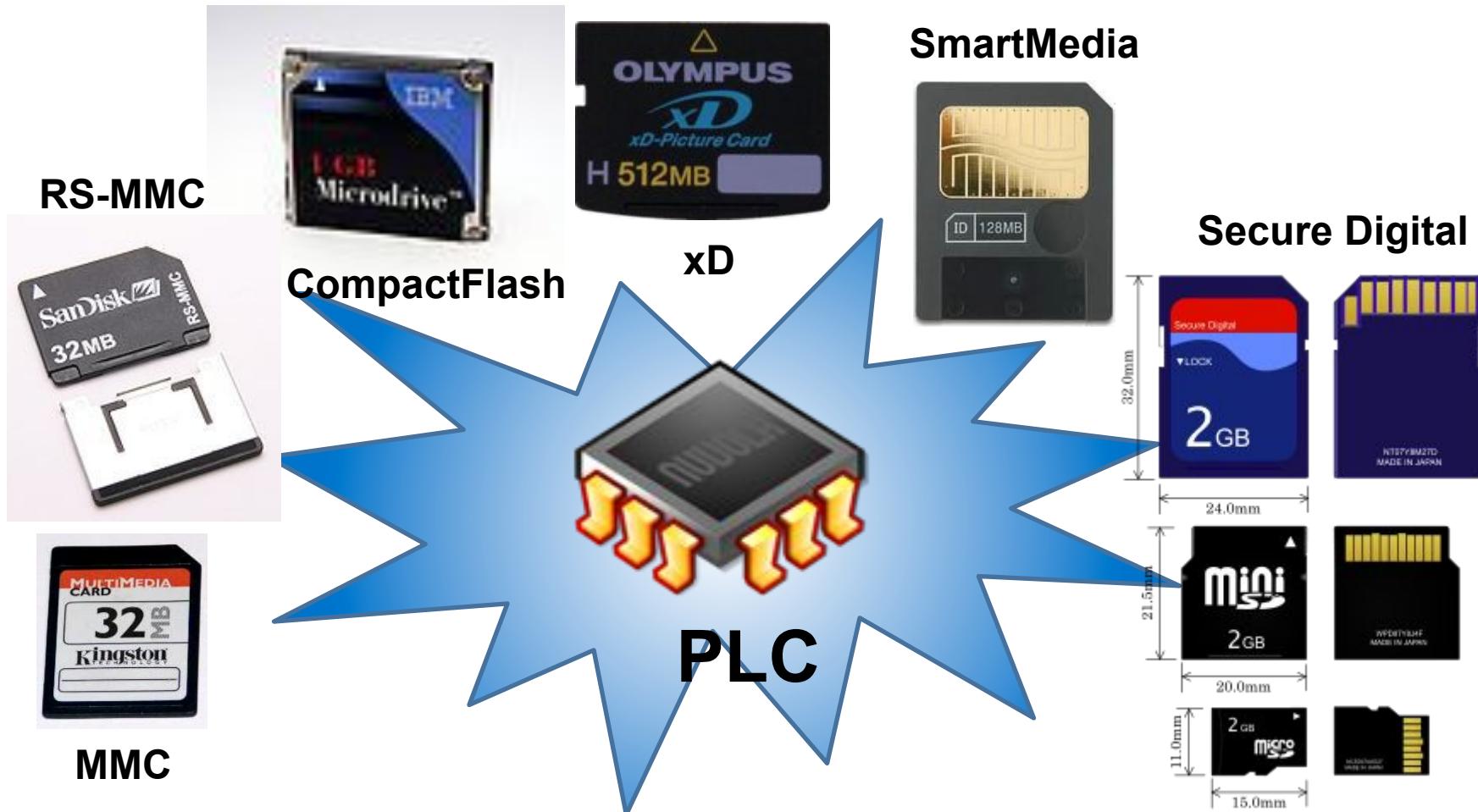


## ORGANIZZAZIONE DELLA MEMORIA NEI PLC

- Le memorie **SRAM** sono **molto veloci, consumano poco**, ma sono **costose** pertanto sono solitamente usate per le **memorie cache**, dove elevate velocità e ridotti consumi sono le caratteristiche fondamentali.
- **Async SRAM** (SRAM asincrona) sono memorie che lavorano in modo **asincrono rispetto al clock della CPU** e ciò comporta stati di attesa della CPU (wait state) per l'accesso. Vengono utilizzate come **cache di secondo livello**.
- **Sync SRAM** (SRAM sincrona) sono memorie che lavorano in **sincronia con il clock della CPU** e hanno quindi tempi di attesa trascurabili. Vengono utilizzata come **cache di primo livello**.



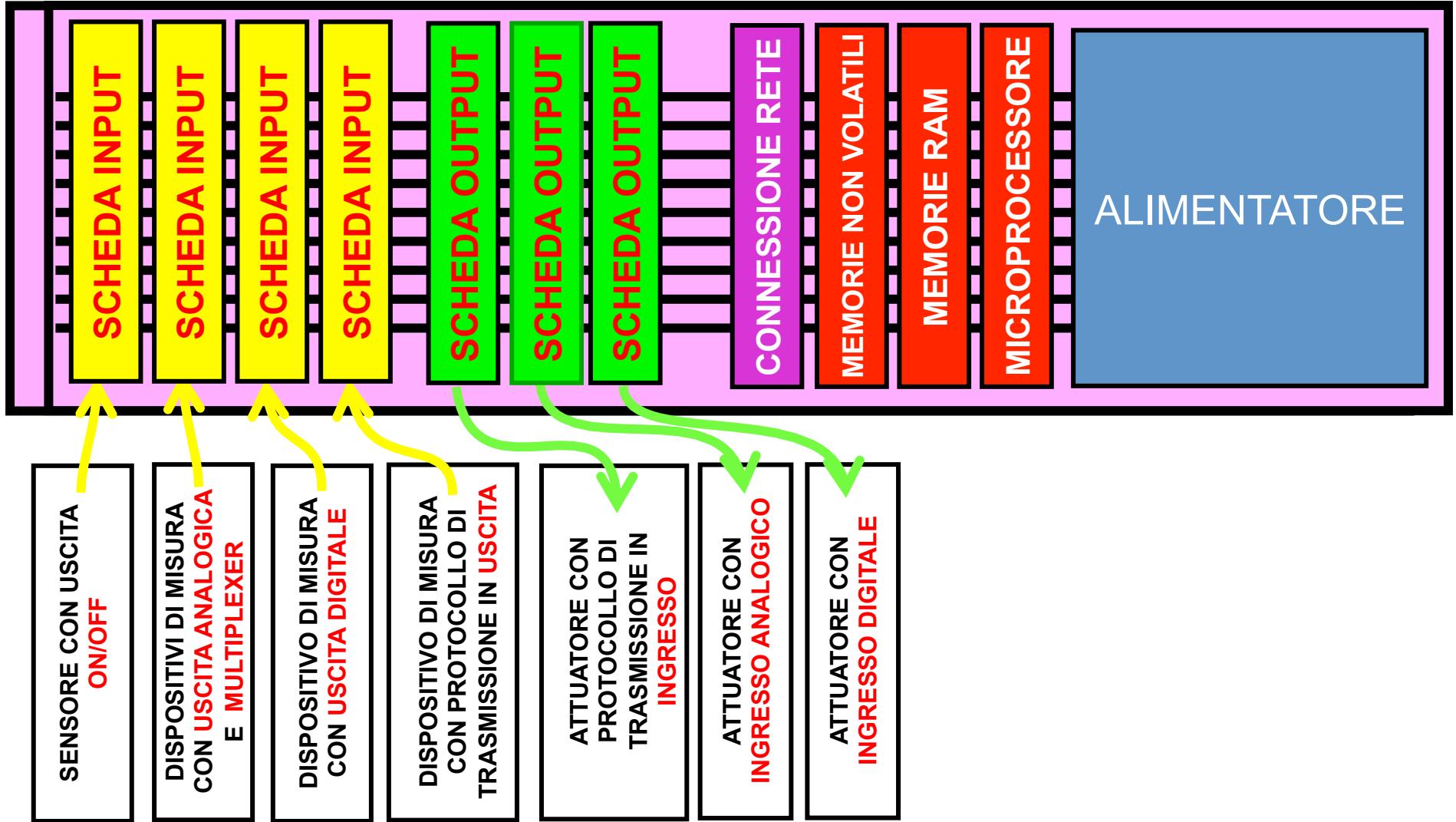
# MEMORIE EEPROM RIMOVIBILI





# STRUTTURA DEI PLC

## SEZIONE DI I/O





## SEZIONE DI INGRESSO/USCITA

Le schede input/output specializzate sono:

- **regolatori** standard PI+D
- schede per il **conteggio veloce** (lettura dell'uscita di un **encoder**)
- schede per la lettura e il controllo della **temperatura**
- schede di lettura degli **estensimetri**
- schede per il **controllo assi** - le schede controllo assi hanno la peculiarità che gli algoritmi da rendere operativi per realizzare una buona modalità di impiego del motore controllato sono in genere **sofisticati** e devono essere eseguiti con un **elevato passo di campionamento** e spesso hanno una **CPU dedicata**



## SCHEDE DI INGRESSO ANALOGICHE

- molti produttori di PLC rendono disponibili schede con ingressi analogici

- **Termoresistenze Pt100/Pt1000**

EFFETTO Seebeck

CHROMEL  
ALUMEN



$$\rho(T) = \rho_0 \cdot [1 + \alpha(T - T_0)]$$

termo-resistenze  
in platino (Pt),  
in cui la resistenza alla  
temperatura di 0 °C  
è pari rispettivamente  
a 100 Ω e 1000 Ω

• **Termocoppe T, J, K, ecc.**

ECONOMICHE  
NON LINEARI  
POCO ACCURATE (+/- 1°C)

RAME COSTANTANA      FERRO COSTANTANA



- queste schede sono disponibili con varie **risoluzioni** (8-12-16 bit) e con 1 o più ( $2^N$ ) ingressi distinti disponibili in morsettiera o con connettore



## SCHEDE DI COMUNICAZIONE

- il PLC durante il suo funzionamento può comunicare con altri PLC, computer o dispositivi CNC (**Computer Numerical Control**) come presse piegatrici, punzonatrici, torni, fresatrici e macchine di taglio lamiera
- la **comunicazione con computer** e altri dispositivi avviene tramite tipi di connessione standard come
  - RS232 – Seriale  
Recommended Standard
  - RS422/RS485 – Seriale  
Recommended Standard
  - TCP/IP (RJ45) o USB
- la **comunicazione con altri PLC** avviene tramite protocolli standard, ad esempio:
  - Profibus - Modbus - CANBUS – ecc.

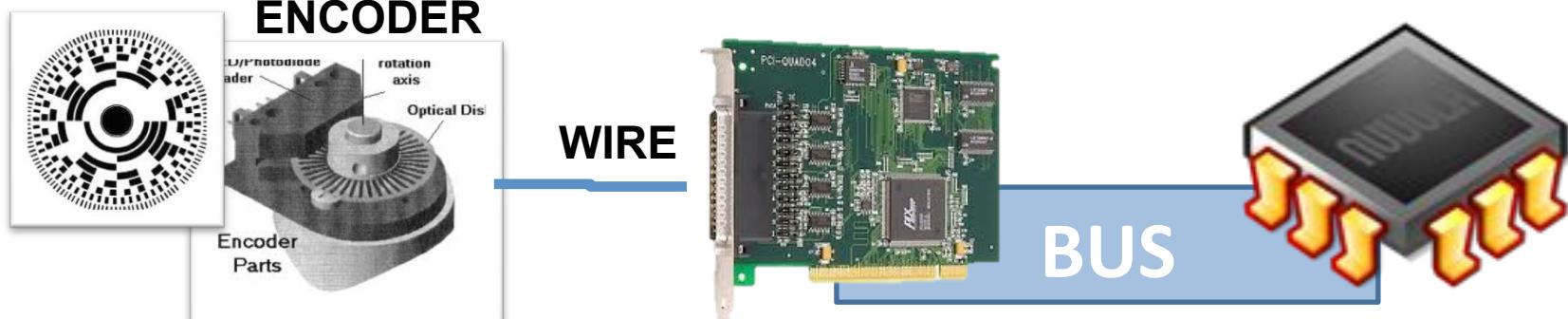




## SCHEDE DI CONTEGGIO

- accolgono il segnale di un **sensore di conteggio e direzione** più un canale di **azzeramento**; il cablaggio funziona sia in **single ended** (Ground + Segnale, come nella RS232, non robusto al rumore) sia in **differenziale** (normalmente secondo lo standard RS-422)

DISCO  
OTTICO  
A 8 BIT



- normalmente è possibile programmarle in modo che scatenino un evento (per esempio alzando un'uscita) al raggiungimento di una **soglia** o all'interno di un **intervallo** di valori



## SCHEDE PI+D

- sono schede ad **un ingresso ed una uscita** ed applicano un anello di controllazione locale



utili per regolare temperature, pressioni, tensioni, correnti, etc.



# PROGRAMMAZIONE DEI PLC



# **SOFTWARE DI PROGRAMMAZIONE DEI PLC**

## **SECONDO LE NORME IEC 61131-3**

### **LINGUAGGI GRAFICI**

**LD**      **LADDER DIAGRAM**

**FBD**      **FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM**

**SCF**      **SEQUENTIAL FUNCTION CHART**

### **LINGUAGGI TESTUALI**

**IL**      **INSTRUCTION LIST**

**ST**      **STRUCTURATED TEXT**



# LINGUAGGI DI PROGRAMMAZIONE

## SECONDO LE NORME IEC 61131

### LINGUAGGI DI PROGRAMMAZIONE GRAFICI

**LADDER DIAGRAM** ottenuto come **trasposizione** informatica dei **quadri a relè SCHEMA A CONTATTI**

**FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM** ottenuto come **trasposizione** dei **diagrammi circuitali** in cui le interconnessioni rappresentano i **percorsi dei segnali** che collegano i vari componenti; i blocchi rappresentano le singole operazioni logiche

**SEQUENTIAL FUNCTIONAL CHART** ottenuto applicando un formalismo grafico per la descrizione di **operazioni logiche sequenziali** e formalismi grafici proprio di altri linguaggi di programmazione; utilizzato per descrivere in maniera orientata alla **progettazione sistemi complessi di automazione**



# LINGUAGGI DI PROGRAMMAZIONE

## SECONDO LE NORME IEC 61131

### LINGUAGGI DI PROGRAMMAZIONE TESTUALI

#### INSTRUCTION LIST

linguaggio di programmazione di **basso livello** molto simile all'**ASSEMBLER**; le istruzioni sono costituite da un operatore e da un solo operando e fanno riferimento ad un registro di memoria; i formalismi adottati possono essere molto differenti in quanto fissati dal produttore dell'hardware per il PLC

#### STRUCTURED TEXT

linguaggio di programmazione strutturato ad **alto livello** con un formalismo che si ispira al **BASIC** e al **PASCAL**; è adatto alla rappresentazione di procedure complesse che non potrebbero essere descritte con i linguaggi grafici