



Lezione #2

Dispositivi di controllo



- Introduzione ai dispositivi di controllo industriali
- Requisiti e caratteristiche dei dispositivi di controllo
- Architetture dei dispositivi di controllo
- Dispositivi di controllo specializzati

Dispositivi di controllo

- Il **sistema di controllo** ha il compito di:

- Elaborare **informazioni**
- Realizzare **algoritmi**

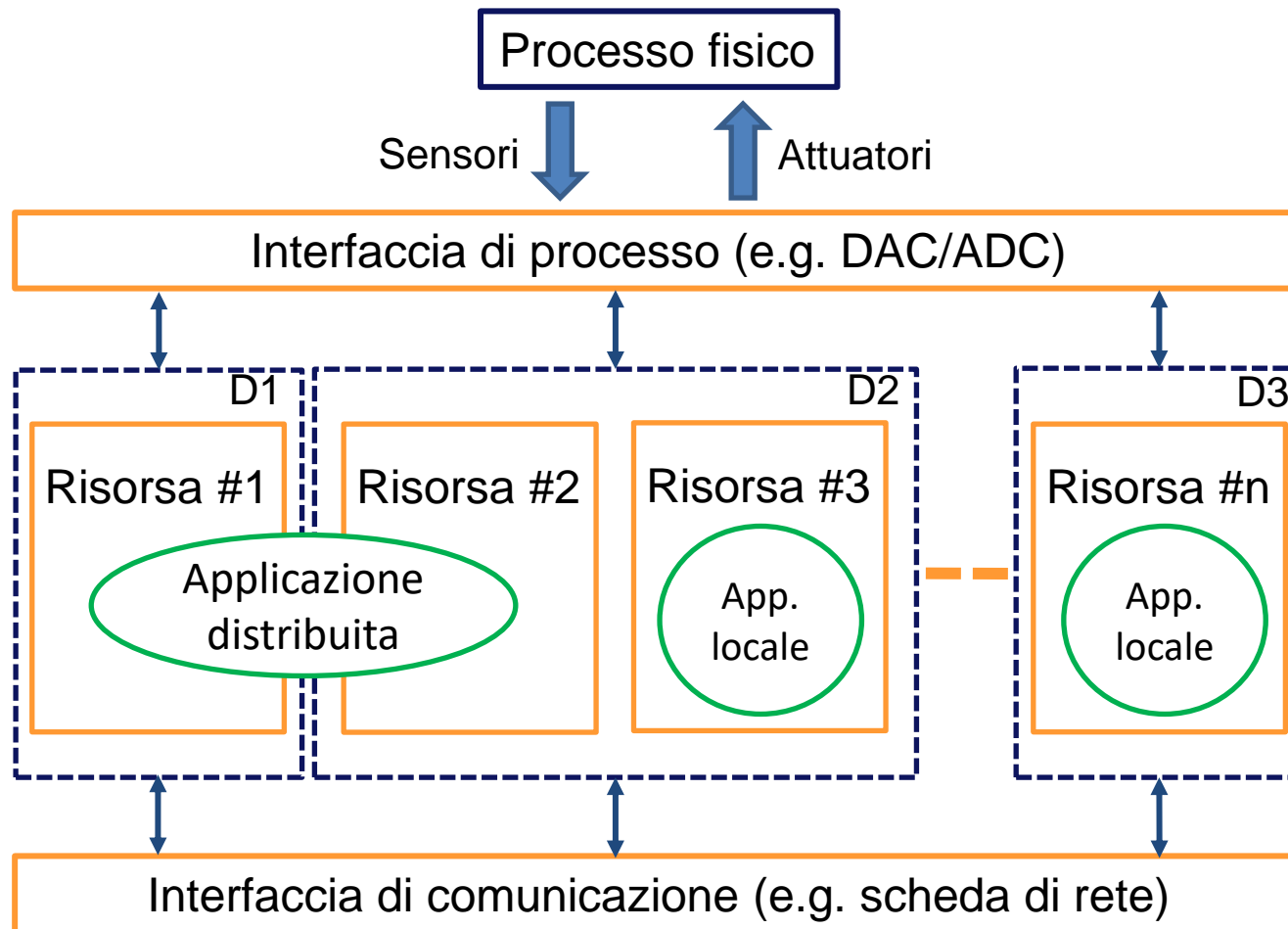
Con lo scopo di far assumere al **processo fisico** controllato il comportamento desiderato.

- Questi compiti vengono realizzati mediante l'impiego di **dispositivi dedicati**

Dispositivi di controllo

- **Dispositivo**: entità fisica indipendente capace di realizzare una o più (parti di) applicazioni
- **Risorsa**: suddivisione logica della struttura software/hardware di un dispositivo che abbia un controllo indipendente delle sue operazioni
- Un dispositivo deve disporre di una o più risorse in grado di eseguire **applicazioni** (locali o distribuite) che processino dati ed eventi interni.

Dispositivi di controllo



Controllo: modulante vs logico

Controllo modulante

Dispositivi che hanno l'obiettivo di far inseguire alle variabili controllate i rispettivi riferimenti

- Teoria basata sui **sistemi dinamici**
- Operano a **basso livello**
- **Esempi:** controlli di temperatura, motori, livello di liquido...

Controllo: modulante vs logico

Controllo modulante

La teoria relativa a questo aspetto verrà in larga parte coperta nel corso di **controlli automatici**

→ Parleremo soprattutto di regolatori **PID**
(aspetti implementativi, metodi di taratura...)

Controllo: modulante vs logico

Controllo logico

Dispositivi che devono assicurare lo svolgimento di una o più sequenze di attività, la cui evoluzione è dettata dal verificarsi di **eventi**

- In genere descritti da **macchine a stati**
- Operano ad **alto livello**
- **Esempi:** ascensori, distributori automatici, sistemi semaforici...

Controllo: modulante vs logico

Controllo logico

Si utilizza in generale la teoria dei **sistemi a eventi discreti**:

- Lo stato assume valori in un **insieme discreto**
- L'evoluzione dello stato è dettata dall'occorrenza di **eventi asincroni**

Requisiti dei dispositivi di controllo

Requisiti fondamentali

I due requisiti essenziali sono:

1. Capacità di **rispondere a stimoli** provenienti dall'esterno (**dati o eventi**)
2. Capacità di **interagire con l'esterno** modificando il processo controllato

Requisiti dei dispositivi di controllo

Gestione dei segnali di I/O

Di conseguenza, il dispositivo deve essere dotato di apposite **interfacce HW** (e relativi driver) in grado di gestire

- l'**I/O** di segnali analogici e/o digitali
- la **comunicazione** con l'utente e/o altri dispositivi

Requisiti dei dispositivi di controllo

Funzionalità

Il dispositivo deve fornire le seguenti **funzionalità**

- Controllo a ciclo chiuso “classico” (regolazione/asservimento)
- Calcolo dei valori di riferimento
- Controllo logico/sequenziale
- Gestione di allarmi e anomalie
- Interfaccia operatore (HMI)
- Comunicazione con altri dispositivi
- Trattamento di segnali di I/O di varia natura, possibilmente in numero elevato

Requisiti dei dispositivi di controllo

Modalità di esecuzione dei task

Un'applicazione può essere suddivisa in *task*, che possono essere gestiti in maniera

- **periodica**: a intervalli di tempo assegnati (e.g. controllo in retroazione classico)
- **ciclica**: ricomincia appena l'esecuzione è terminata (e.g. sequenzializzazione di movimenti)
- **ad eventi** (e.g. gestione di un'anomalia)

Requisiti dei dispositivi di controllo

Funzionalità e modalità di esecuzione dei task

Non tutte le **funzionalità** e le **modalità di esecuzione** sono necessariamente presenti su un dispositivo di controllo!



Requisiti dei dispositivi di controllo

Esecuzione in tempo reale

Esecuzione in tempo reale: il sistema deve rispondere entro tempi fissati a eventi esterni **asincroni** (i.e. non prevedibili)

Superare la *deadline* può causare

Un malfunzionamento



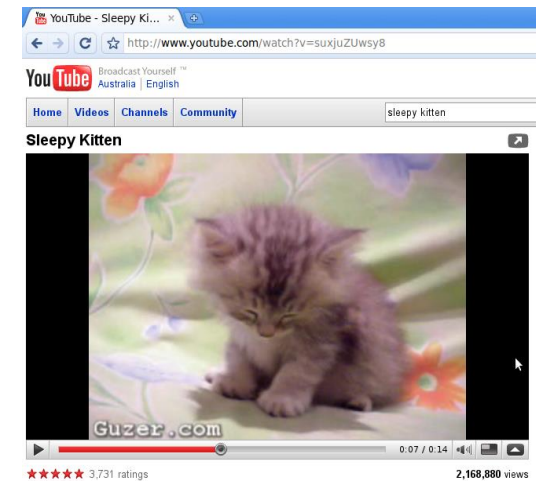
Hard RT



Un degrado delle prestazioni



Soft RT



Requisiti dei dispositivi di controllo

Esecuzione in tempo reale

Il requisito di **esecuzione RT** richiede:

- Adeguata **velocità** di elaborazione
- **Tempo di esecuzione** delle istruzioni **noto**
- **Accesso alla memoria e all'I/O** veloce, affidabile e deterministico
- **Tempificazione di riferimento** certa
- Funzioni di **autodiagnostica**
- **Ridondanze** strutturali (per operare anche in caso di guasti)

Requisiti dei dispositivi di controllo

Esecuzione in tempo reale - RTOS

Nei casi più complessi può essere necessario un **Sistema Operativo RT (RTOS)**, che deve garantire:

- Sistema ***multitasking pre-emptive***
 - Un task deve poter essere interrotto da uno più «urgente»
- Assegnazione e gestione delle **priorità**
 - Processi a priorità elevata (HP) non devono essere bloccati da processi a priorità inferiore (LP)
 - Vanno evitate situazioni come *deadlock* e *priority inversion* (in cui un processo HP è direttamente/indirettamente interrotto da uno LP)
- ***Policy di scheduling*** adeguate
(e.g. *Rate Monotonic, Earliest Deadline First...*)
- Meccanismi di **comunicazione e sincronizzazione** tra processi

Requisiti dei dispositivi di controllo

Esecuzione in tempo reale - RTOS

Nei casi più complessi può essere necessario un **Sistema Operativo RT (RTOS)**, che deve garantire:

- **Timeliness**: risultati forniti nel tempo desiderato
- **Prevedibilità**: tempi di esecuzione prevedibili
- **Tolleranza ai sovraccarichi**: il sistema non deve collassare in caso di carico eccessivo
- **Monitorabilità**: lo stato di esecuzione dei processi deve essere monitorato per segnalare superamenti di deadline
- **Flessibilità/scalabilità**: il sistema deve essere modulare e facilmente adattabile alle esigenze applicative per evitare di appesantire il dispositivo

Requisiti dei dispositivi di controllo

Aspetti costruttivi

Il dispositivo deve essere abbastanza **robusto** da poter resistere in un ambiente ostile: sporco, vibrazioni, campi elettromagnetici, urti...



I dispositivi di controllo possono essere realizzati con diverse **architetture**

- Controllori **monolitici**
- Architettura a **bus**
- Controllori **PC-based**

Controllori monolitici (o *embedded*):
integrano tutto il necessario per realizzare le
funzioni di controllo in un **unico dispositivo
fisico** (incluse le interfacce di I/O)

- *Single chip*
- *Single board*

Un **controllore monolitico** deve possedere

- Un'unità di elaborazione
- Una **memoria non volatile** (per la memorizzazione del programma utente)
- Una **memoria volatile** (per la memorizzazione dei dati)
- Un **clock**
- I vari dispositivi di **interfaccia** (digitali e/o analogici)
- Un sistema di **gestione delle interruzioni**

I **controllori monolitici** spesso utilizzano processori **RISC** (*Reduced Instruction Set Computer*) oppure specializzati per trattamento di segnali (**DSP** *Digital Signal Processing*)

Controllori *single chip* (microcontrollori)

- Adatti per applicazioni che richiedono **bassa potenza** di elaborazione e **ridotto numero di ingressi/uscite**
- Esistono vecchi controllori a 4 bit (per applicazioni semplici), oggi sono disponibili anche a 8, 16 e 32 bit

Controllori *single chip*

- Tipicamente programmati in linguaggio macchina (*assembly*)
- Frequente anche la possibilità di usare *cross-compiler* per linguaggi di alto livello (e.g. C)
- Gli ambienti di sviluppo spesso forniscono anche funzionalità di *debugging* tramite cui emulare l'esecuzione del programma
- **OS non previsto** (o estremamente ridotto: *scheduler* + gestione comunicazioni inter-processo)
→ **L'utente deve occuparsi della corretta gestione delle risorse!**
- Non possiedono interfacce verso altri dispositivi di controllo

Architettura fisica

Controllori monolitici

Controllori *single chip*



Microcontrollore [PIC](#) 18F8720
in contenitore 80-pin [TQFP](#).



Il primo microcontrollore prodotto
Intel 8048 (1975)

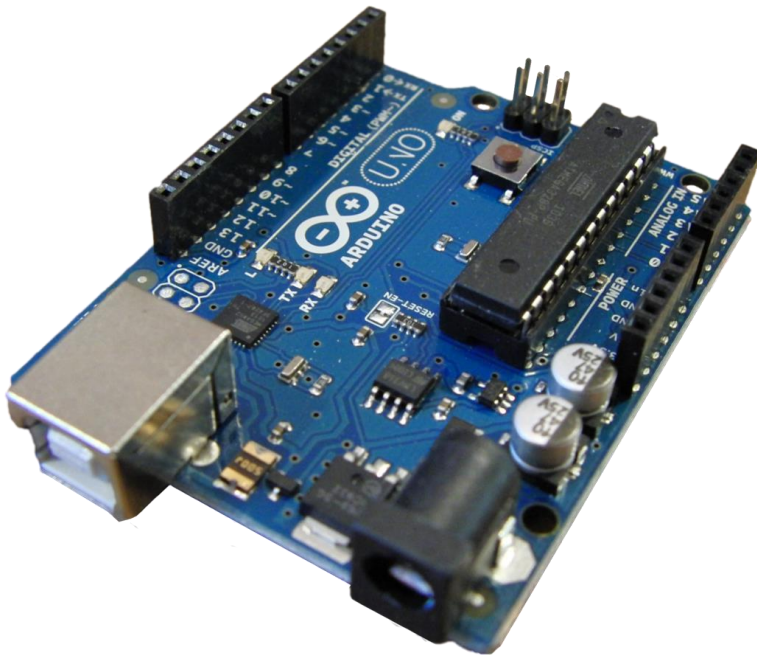
Controllori *single board*

- Forniscono maggiore potenza di elaborazione e maggior numero di ingressi/uscite
- Interfacce utilizzatore minimali (pulsanti, led)
- A volte prevedono un'interfaccia di comunicazione con altri dispositivi (e.g. *Ethernet*)

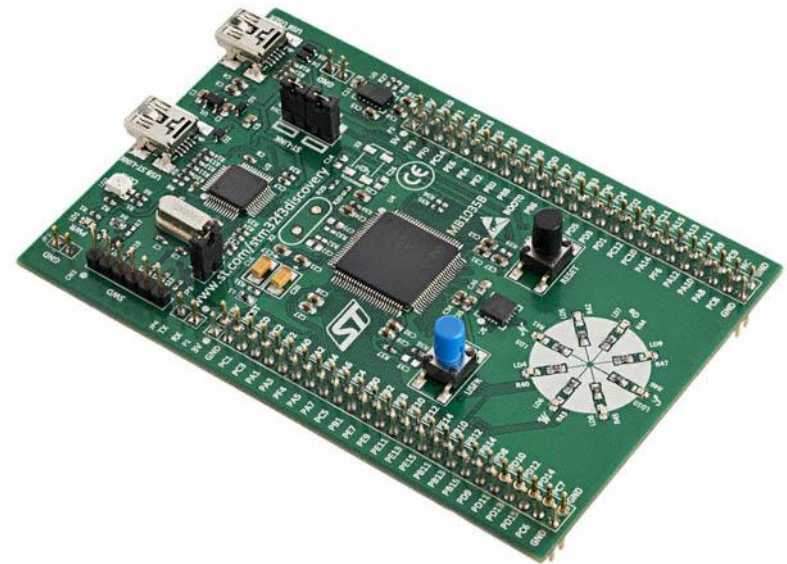
Architettura fisica

Controllori monolitici

Controllori *single board*



Arduino UNO



STM32F3

Altri controllori monolitici



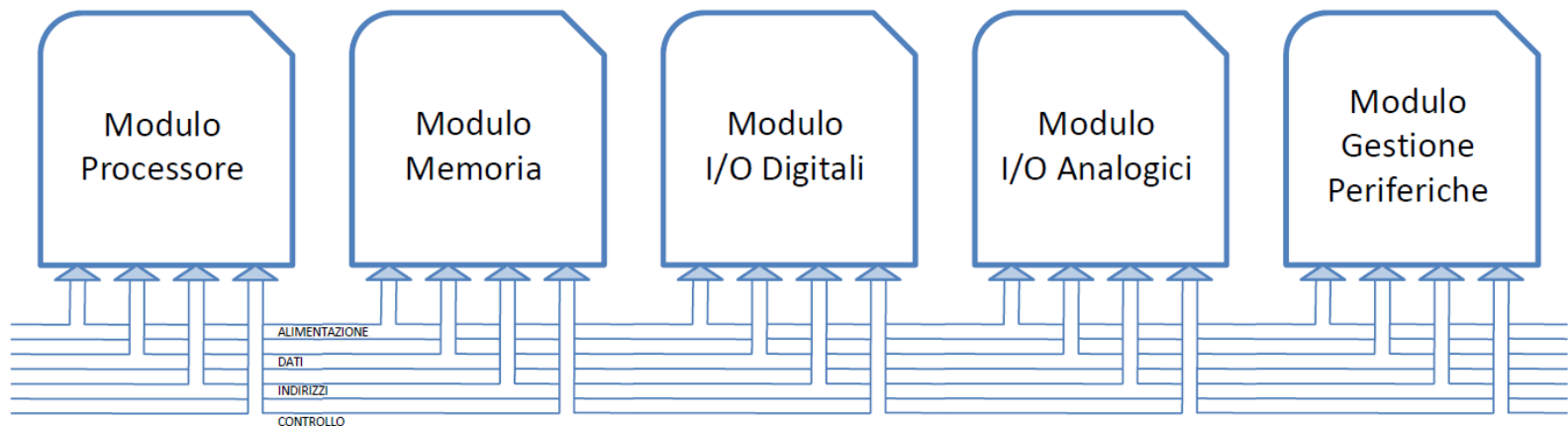
PLC monolitico Allen-Bradley

Architettura fisica

Controllori a bus

I **controllori a bus** sono caratterizzati da

- Elevata capacità di elaborazione
- Elevato numero di ingressi/uscite
- Possibilità di comunicare su rete
- Possibilità di realizzare interfacce complesse



- Un **bus** è definito come la combinazione di
- Un insieme di **linee elettriche**, raggruppate per funzioni, che connettono tra loro varie schede o moduli
 - Un **protocollo di comunicazione** su tali linee
 - Uno specifico tipo di **connettori** necessario per collegare tra loro i moduli

I moduli sono collegati **in parallelo**: la velocità di propagazione dei segnali elettrici, confrontata con la banda delle informazioni, **limita la lunghezza dei bus a qualche decimetro**

Esempi di **bus industriali**

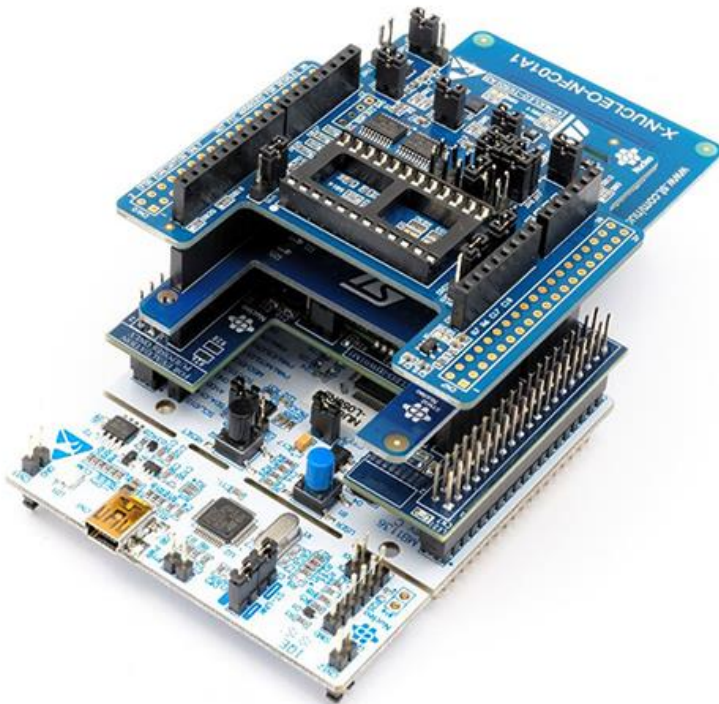
- [VME](#)
(VERSABUS Module Eurocard)
- [EISA](#)
(Extended Industrial Standard Architecture)
- [PCI / PCI Express](#)
(Peripheral Component Interconnect)
- [CompactRIO](#)
(Reconfigurable IO)
- [ATCA](#)
(Advanced Telecommunications Computing Architecture)

Architettura fisica

Controllori ibridi

Architetture **ibride**

- microcontrollori **monolitici** + **shield** (*bus-like*)



È anche possibile utilizzare PC «*general purpose*» come dispositivi di controllo

+ **costo minore**

+ ampia varietà di **fornitori**

+ **manutenzione** più semplice

+ più **semplici da usare**

+ **funzionalità di base ampie** (interfacce grafiche, memorie di massa, interfacce di rete...)

- **interfaccia di processo limitata** (poche schede installabili)

- **poco robusti**

Alcune limitazioni sono superabili grazie all'utilizzo di **reti informatiche**

- Possibilità di collocare il calcolatore **lontano dal processo**
- Elevato numero di schede di **I/O remoto**

Architettura fisica

Controllori PC-based

- Resta comunque necessaria l'installazione di un sistema **operativo real time** (e.g. RTAI, RT-Linux, VxWorks, RTEMS...)
- È possibile programmare con **linguaggi di alto livello** o utilizzare **emulatori di controllori specializzati** (*Soft-PLC, Soft-CNC, ecc.*)

Controllori specializzati

- La diffusione di alcuni tipi di controllo ha fatto sì che venissero sviluppati dei **dispositivi di controllo dedicati**
- Questi controllori non richiedono la **programmazione** dell'algoritmo di controllo, ma solo una sua **configurazione** da parte dell'utente

Controllori specializzati

- Esempi di **controllori specializzati**
 - **CNC** (Computer Numerical Control)
 - **PID** industriali
 - Controllori per **motori elettrici**
 - **PLC** (Programmable Logic Controller)

Controllori specializzati

Macchine CNC

- Una **macchina a controllo numerico** è un macchinario che esegue lavorazioni e movimentazioni attraverso **assi di rotazione e traslazione controllati**
- Tipicamente sono dotate di un linguaggio di alto livello **orientato alla funzionalità della macchina**
- Esempi: torni, fresatrici, bracci manipolatori...

Controllori specializzati

Macchine CNC

Funzionalità realizzate dal controllore:

- controllo del movimento di ogni asse
- generazione dei riferimenti corretti per gli assi (leggi orarie)
- coordinazione dei movimenti degli assi
- esecuzione di istruzioni espresse nel linguaggio di programmazione
- gestione delle logiche e delle sequenze della macchina ed (eventualmente) di dispositivi collegati
- interfaccia uomo-macchina (HMI)
- comunicazione con dispositivi esterni (per necessità di coordinamento)
- autodiagnostica

Controllori specializzati

Macchine CNC

L'**architettura** del controllore è tipicamente **modulare**, con un bus che connette **moduli specializzati**:

- controllo in posizione e velocità per ognuno degli assi
- interpretazione del programma e generazione di traiettorie
- controllo logico/sequenziale
- HMI
- ...

Controllori specializzati

Macchine CNC



Tornio a controllo numerico

Controllori specializzati

Controllori per motori elettrici

- Il controllo di motori elettrici è in genere realizzato con **tecnologie digitali**
- **Funzionalità** principali:
 - Acquisizione di variabili di stato elettriche e meccaniche necessarie
 - Implementazione dell'algoritmo di controllo e della logica di gestione del motore
 - Conversione di potenza necessaria al corretto pilotaggio del motore
 - Ricezione dei comandi di moto dall'esterno

Controllori specializzati

Controllori per motori elettrici

- Il controllo può essere in coppia/velocità (**azionamento elettrico**) o di posizione (**controllo d'asse**)
- Il controllo può anche essere a **ciclo aperto** (ad esempio per motori a passo)

Controllori specializzati

PID industriali

- I **PID** sono i dispositivi più diffusi per la **regolazione** in ambito industriale
- Implementano la **legge di controllo**

$$u(t) = K_P e(t) + K_I \int_0^t e(\tau) d\tau + K_D \frac{de(t)}{dt}$$

Controllori specializzati

PID industriali

- Spesso sono realizzati con **architetture monolitiche**
- A volte possono connettersi direttamente con sensori e attuatori
- Possono essere in grado di comunicare su rete con altri dispositivi (ad esempio per ricevere nuovi riferimenti)

Controllori specializzati

PID industriali

- L'implementazione reale include meccanismi come *anti wind-up*, *bumpless transfer* (commutazione smooth manuale-automatico), ecc.
- L'utente deve solo **tarare i guadagni**
 K_P, K_I, K_D
- A volte il dispositivo può includere procedure di **autotaratura**

Controllori specializzati

PID industriali



PID Gefran450



Kit per controllo di temperatura

Controllori specializzati

PLC

- Il **Controllore a Logica Programmabile (PLC)** è il più diffuso dispositivo di controllo in ambito industriale
- È un dispositivo di controllo per applicazioni generiche, ma è caratterizzato da un **alto grado di specializzazione per il controllo logico/sequenziale**
- Ha un'**architettura modulare a bus**

Controllori specializzati

PLC



Riferimenti e risorse

- [1] Cap. 1 e 2
- [3] Cap. 6 e 9



Fine Lezione #2

Dispositivi di controllo