

Tecnologie Informatiche per l'Automazione Industriale

Prof. Gianmaria De Tommasi

Lezione 1 Introduzione al corso

Corso di Laurea
Codice insegnamento
Email docente
Anno accademico

N46
U1142
detommas@unina.it
2018/2019

Lezione numero: 1

Parole chiave: Automazione Industriale,
Dispositivi di Controllo

Sommario della lezione

- **Informazioni generali sul corso**
- **Introduzione al corso**
 - Modello di un sistema di controllo industriale
 - Modello di un dispositivo di controllo
- **Requisiti dei dispositivi di controllo**
- **Dispositivi di controllo per applicazioni generiche**
- **Dispositivi di controllo specializzati**

Informazioni generali sul corso 1/9

Contatti docente

Docente

Prof. Gianmaria De Tommasi

Dipartimento di Ingegneria Elettrica e delle Tecnologie dell'Informazione
Complesso di Via Claudio

Studio: 2.13

Telefono: 081 768 3853

Email: detommas@unina.it

Webpage: <http://www.docenti.unina.it/gianmaria.detommasi>
<http://wpage.unina.it/detommas>
<http://wpage.unina.it/detommas/tiai.html>

Orario di ricevimento: Lunedì 13:30-15:30 (II sem.)
14:30-16:30 (resto dell'anno)

Informazioni generali sul corso 2/9

Programma del corso

- 1. Introduzione al corso**
- 2. Dispositivi di controllo: architetture e requisiti**
- 3. Regolatori PID industriali**
- 4. Programmazione dei Controllori a Logica Programmabile – Standard IEC 61131-3**
- 5. Sistemi di supervisione controllo e acquisizione dati (SCADA) - cenni**
- 6. Programmazione microcontrollori**

Informazioni generali sul corso 3/9

Libri di testo e materiale didattico

Autori: P. Chiacchio e F. Basile

Titolo: **Tecnologie informatiche per l'automazione (2° ed.)**

Casa editrice: McGraw-Hill

Autori: P. Bolzern, R. Scattolini e N. Schiavoni

Titolo: **Fondamenti di controlli automatici (4° ed.)**

Casa editrice: McGraw-Hill

Materiale del corso. Disponibile alla pagina web

<http://wpage.unina.it/detommas/tiai.html>

Informazioni generali sul corso 4/9 Matlab/Simulink

Matlab e **Simulink** rappresentano lo standard *de facto* per la progettazione in molti settori dell'ingegneria. L'utente ha a disposizione una ricchissima libreria di funzioni raccolte in diversi *toolbox*, ognuno dedicato ad un particolare campo applicativo (sistemi di controllo lineari e non lineari, statistica, signal processing, ecc.)

Matlab e Simulink verranno utilizzati per le esercitazioni relative ai regolatori PID industriali

Risorse:

→ [Sito Mathworks](#)

→ [Breve introduzione a Matlab](#)

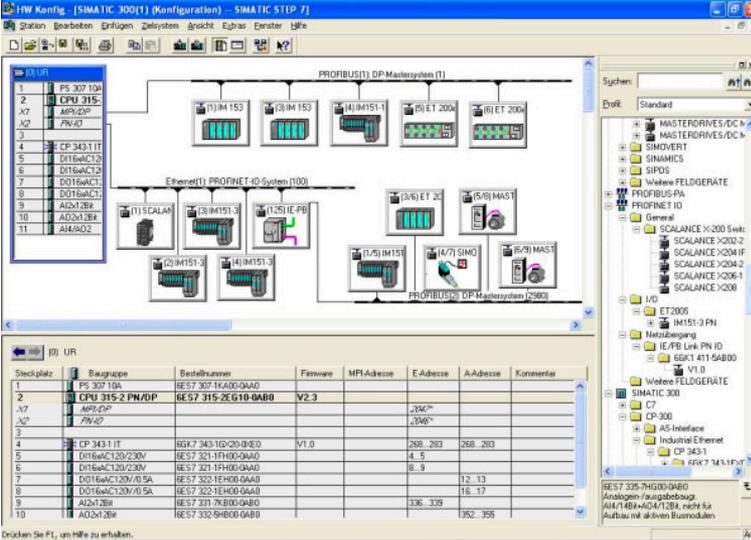
Informazioni generali sul corso 5/9

Lo standard IEC-61131-3 per la programmazione di PLC

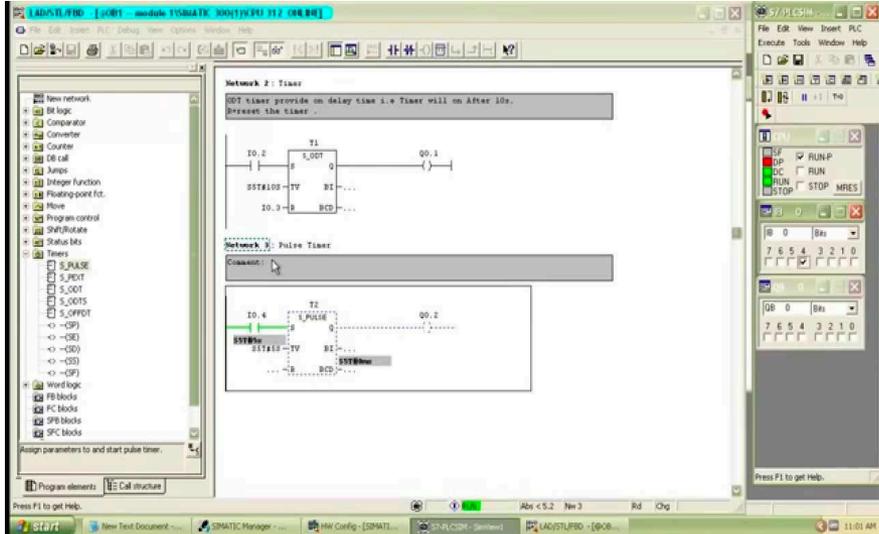
Siemens Step 7 strumento commerciale utilizzato in laboratorio per programmare il PLC Siemens S7

Risorse:

➤ [Introduzione a STEP 7](#)



Stapelplatz	BSgruppe	Bestellnummer	Firmware	MPI-Adresse	E-Adresse	A-Adresse	Kommentar
1	PS 307 10A	6ES7 307-1EA00-0AA0					
2	CPU 315-2 PN/DP	6ES7 315-2EG10-0AB0	V2.3				
3	PS 307 10A						
4	CP 343-1 IT	6GK7 343-1EX30-0XE0	V1.0	268, 269	268, 269		
5	DI16xDC24/DO16xAC120V/0.5A	6ES7 321-1BH03-0AA0		4, 5			
6	DI16xDC24/DO16xAC120V/0.5A	6ES7 321-1BH03-0AA0		6, 7			
7	DI16xDC24/DO16xAC120V/0.5A	6ES7 321-1BH03-0AA0			12, 13		
8	DI16xDC24/DO16xAC120V/0.5A	6ES7 321-1BH03-0AA0		16, 17			
9	AD2x12Bit	6ES7 331-7K02-0AB0		336, 339			
10	AD2x12Bit	6ES7 331-7K02-0AB0		352, 355			



Network 2: Timer

OT timer: provide an delay time i.e. Timer will on After 10s. Bypass the timer.

```

10.2 | 0 | S_ODT | 0 | 00.1
|-----|---|
| S_ODT |---| T1 |---|
| 10.3 |---| BCD |---|

```

Network 3: Pulse Timer

```

10.4 | 0 | S_ODT | 0 | 00.2
|-----|---|
| S_ODT |---| T2 |---|
| 10.5 |---| BCD |---|

```

Informazioni generali sul corso 6/9 Programmazione di microcontrollori ChibiOS – ChibiStudio

- Sistema operativo real-time **ChibiOS**
- Sistema di sviluppo integrato **ChibiStudio**
- Microcontrollori **STM32** **Nucleo-64**
F401RE

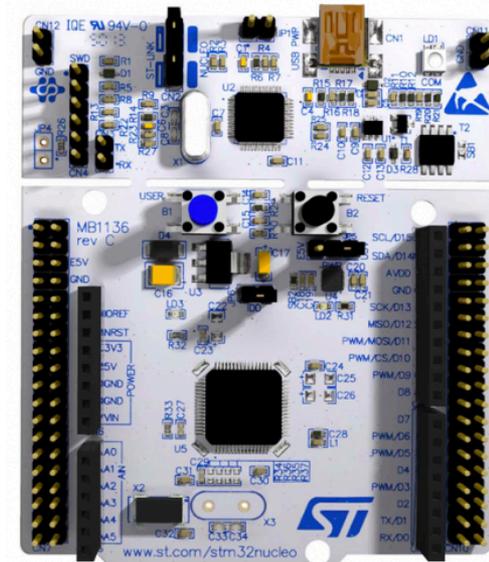
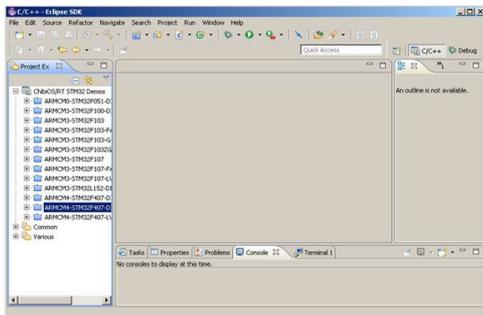
Risorse:

- ⇒ [ChibiOS](#)
- ⇒ [ChibiOS on Wikipedia](#)
- ⇒ [ChibiStudio](#)
- ⇒ [PLAY embedded](#)



Running Chibi Studio

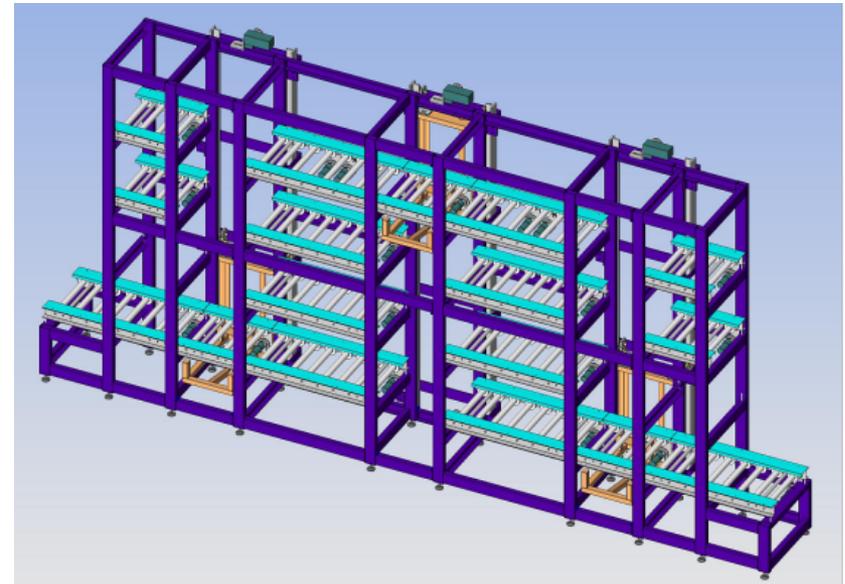
- Run the toolchain through the desktop icon
- You will find yourself into an Eclipse environment configured with several projects already imported and ready to use



Informazioni generali sul corso 7/9 Esercitazioni di Laboratorio Software d'automazione per PLC

Sviluppo di logiche di automazione per il prototipo di magazzino automatico presente nel Laboratorio di Automazione, Supervisione e Controllo (LASC)

- **Gruppi di 4-5 persone**
- **Inizio esercitazioni di laboratorio: maggio**



Informazioni generali sul corso 8/9

Esercitazioni di Laboratorio

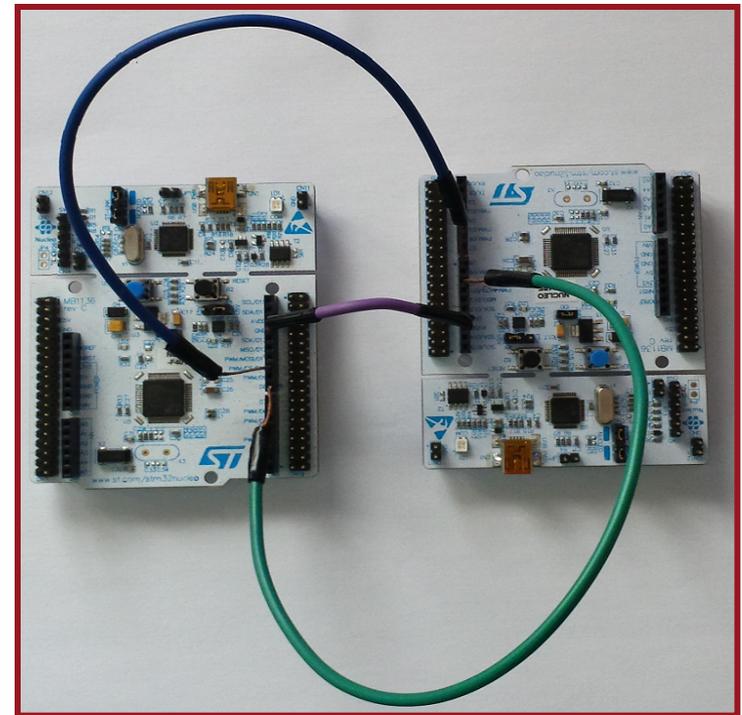
Programmazione di microcontrollori

Sviluppo di esempi per

- **acquisire segnali**
- **generare segnali**
- **implementare semplici algoritmi di controllo**

- **Seminario introduttivo (metà aprile)**
 - **Giovanni Di Sirio (ST)**
 - **Rocco Guglielmi (ST)**

- **Esercitazioni in aula a partire da maggio**
- **Possibilità di sviluppare progetti**
 - [Neapolis Innovation Summer Campus 2019](#)



Informazioni generali sul corso 9/9

Modalità d' esame

Prova scritta

- 1-2 esercizi di programmazione PLC da risolvere *carta e penna*
- 1 esercizio su regolatori PID
- 1-2 domande di teoria

Obiettivo del corso

Guida allo studente:

“Il corso ha lo scopo di educare lo studente alle problematiche di progettazione software di sistemi di automazione industriale...”

- **Metodologie e tecnologie per la realizzazione di sistemi di automazione e controllo**
- ***Hands-on-system***

Introduzione al corso 1/13 L'automazione industriale

L' **automazione industriale** è la disciplina che studia le

metodologie e le tecnologie

che permettono il controllo di flussi

di **energia**, di **materiali** e di **informazioni**

necessari alla realizzazione di processi produttivi

senza l'intervento dell'uomo.

Introduzione al corso 2/13

Benefici derivanti dall'automazione dei processi produttivi

- Riduzione dei costi di produzione
 - razionalizzazione delle risorse
 - riduzione dei tempi di produzione
 - riduzione delle scorte di magazzino
 - riduzione degli scarti di produzione
 - riduzione dell'impatto ambientale
 - risparmio energetico
- Miglioramento della qualità dei prodotti
- Possibilità di utilizzare lo stesso impianto produttivo per prodotti diversi (flessibilità della produzione)

Introduzione al corso 3/13 Automazione = Disoccupazione ?

“L’ automazione industriale è la disciplina che studia... realizzazione di processi produttivi **senza l’ intervento dell’ uomo.**”

L’ automazione crea disoccupazione ?

L’ automazione *consente di eliminare* lavori **pericolosi, usuranti e ripetitivi.**

L’ automazione *crea* lavori di profilo più alto: **progettisti, sviluppatori, installatori e manutentori.**

Introduzione al corso 4/13 Sistemi di automazione e controllo

Lo scopo di questo corso è quello di introdurre le tecnologie e le metodologie per la progettazione hardware e software di **sistemi di controllo e automazione industriale**

Che cos'è un sistema di controllo e automazione industriale?

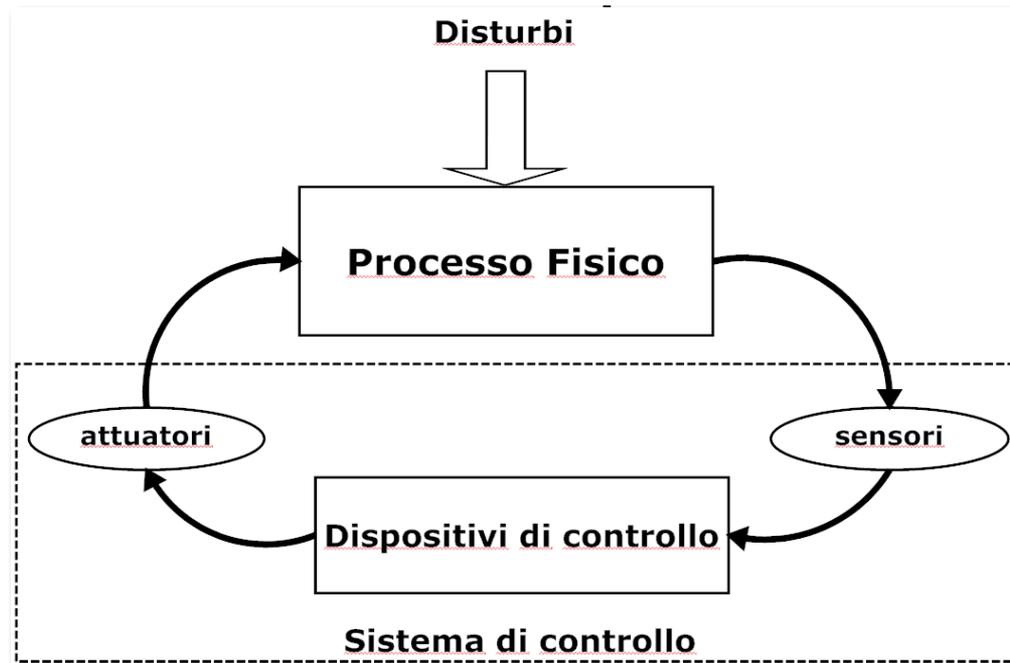
E' un insieme di dispositivi che, controllando i flussi di energia, di materiali ed informazioni, consente di realizzare i processi produttivi senza l'intervento dell'uomo

Introduzione al corso 5/13

Modello di un sistema automatizzato

«punto di vista #1»

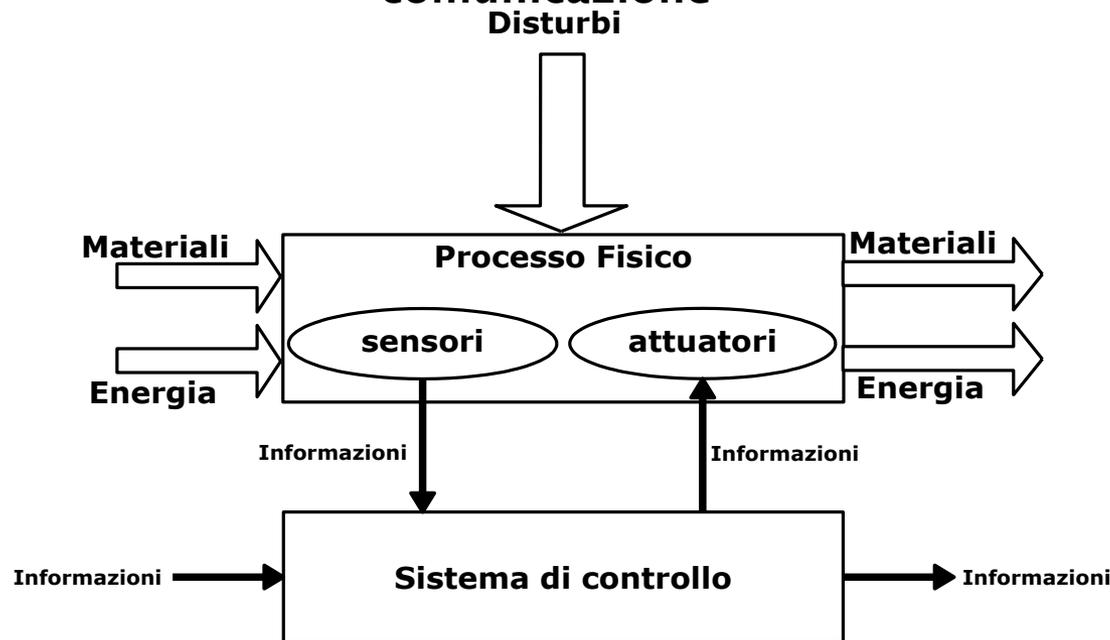
Sistema Controllo = sensori + dispositivi di controllo +



Introduzione al corso 6/13

Modello di un sistema automatizzato «punto di vista #2»

Sistema Automatizzato = Processo Fisico + Sistema di Controllo
Sistema di Controllo = Dispositivi di Controllo + HMI + reti di comunicazione



Introduzione al corso 7/13

Modello di un sistema automatizzato

Il **Processo Fisico** può essere visto come l'insieme di azioni che agiscono su entità del mondo fisico e ne cambiano alcune proprietà.

Il **Processo Fisico**, quindi, è l'insieme di lavorazioni meccaniche, reazioni chimiche, movimentazioni, ecc.

Il **Sistema di Controllo** scambia *informazioni* con il Processo Fisico (attraverso sensori ed attuatori) e/o con un operatore umano e/o con altri sistemi automatici (necessità di sistemi di comunicazione e di interfacce utente)

Il **Sistema di Controllo** realizza, in maniera automatica, gli algoritmi necessari affinché il comportamento del Processo Fisico sia quello desiderato.

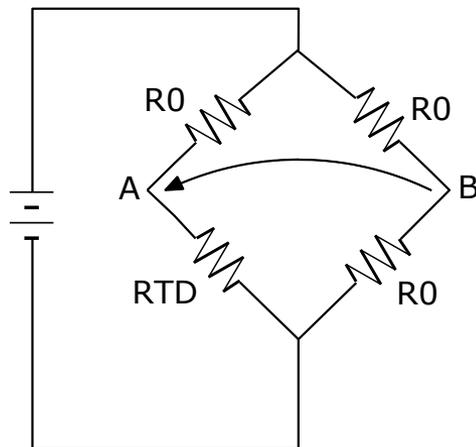
Introduzione al corso 8/13

Sensori e trasduttori

Sensore - trasforma la grandezza da misurare nella grandezza misurata

Trasduttore - trasforma una grandezza di natura fisica o chimica in una grandezza di un'altra natura (tipicamente elettrica)

Resistance Temperature Detector (RTD)



$$RTD = R0(1 + \alpha\Delta T + \beta\Delta T^2)$$

L' RTD trasforma variazioni di temperatura in variazioni di resistenza (è il trasduttore)

La grandezza effettivamente misurata è una variazione di tensione (il sensore è costituito da tutto il circuito)

Introduzione al corso 9/13

Attuatori e pre-attuatori

Attuatore – dispositivo che consente di agire sulle grandezze del processo

Pre-attuatore – dispositivo che converte i segnali provenienti dal sistema di controllo in *segnali di potenza*

Esempi

Valvola (**attuatore**) + Motore e azionamento (**pre-attuatore**)

Motore (**attuatore**) + Amplificatore di potenza ed elettronica di pilotaggio (**pre-attuatore**)

Introduzione al corso 10/13 Sistema di Controllo

Il **Sistema di Controllo** è un dispositivo che

- elabora informazioni
- realizza algoritmi

Il **Sistema di Controllo**, quindi, è costituito da uno o più **sistemi per l'elaborazione dell'informazioni**.

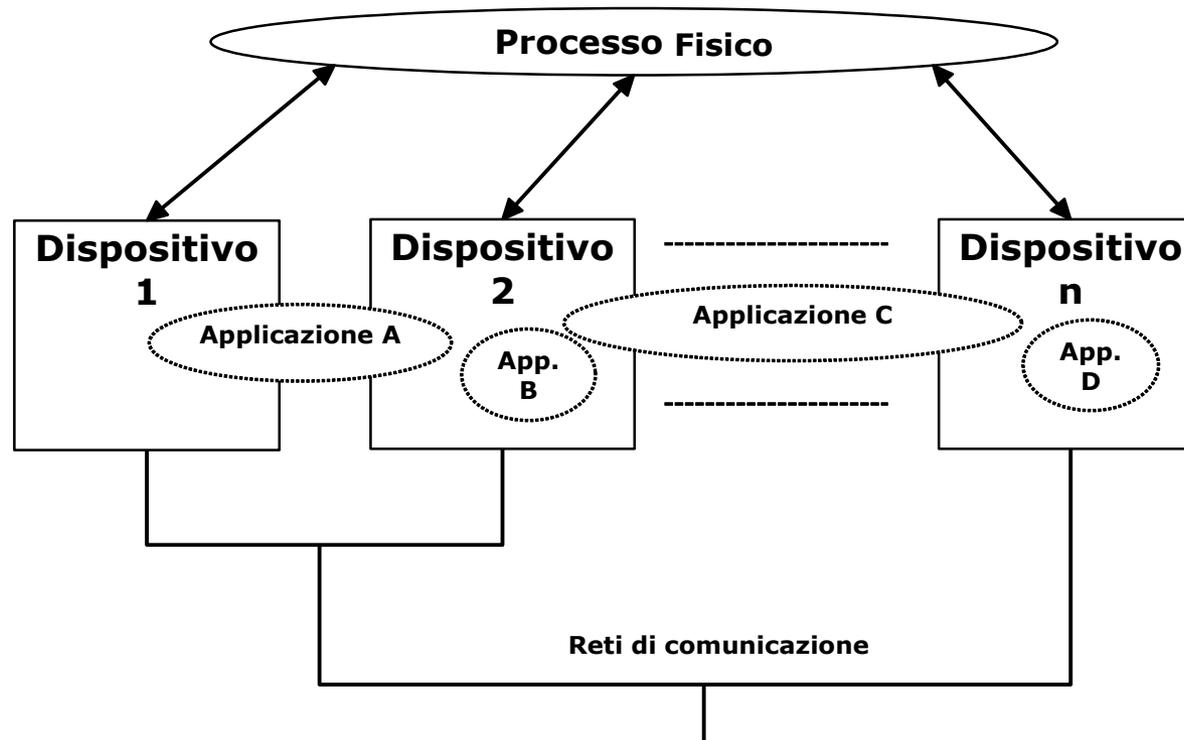
Rispetto ai normali Personal Computer, i dispositivi che vengono utilizzati per realizzare i sistemi di controllo hanno caratteristiche particolari

E' da notare che non è detto che il sistema di controllo debba essere realizzato attraverso tecnologie informatiche. Infatti sono ancora diffusi controllori in tecnologia **idraulica** o **pneumatica**.

Introduzione al corso 11/13

Modello di un sistema di controllo industriale

Il modello prevede più **dispositivi di controllo** che comunicano tra loro attraverso delle reti di comunicazioni e con il processo fisico

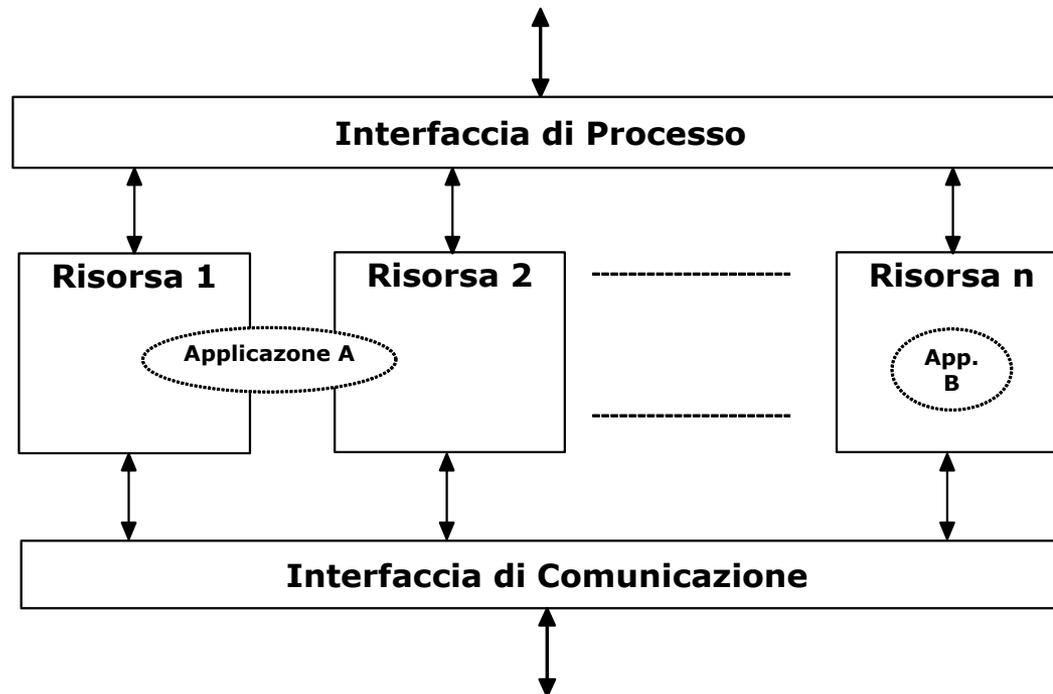


A e C sono applicazioni **distribuite**

Introduzione al corso 12/13

Modello di un dispositivo di controllo industriale

Il modello prevede che ogni dispositivo abbia almeno una **risorsa**, un' **interfaccia verso il Processo Fisico** ed un' **interfaccia di comunicazione** per il collegamento con altri dispositivi



Introduzione al corso 13/13 Dispositivi di controllo industriale

Un dispositivo di controllo industriale, quindi, è un **dispositivo per l'elaborazione dell'informazione**.

Tipicamente un dispositivo di controllo è un **sistema a microprocessore**.
Diversi sistemi a microprocessore concorrono alla realizzazione delle funzionalità di un sistema di controllo industriale:

- Controllori per applicazioni generiche (microcontrollori, controllori con architetture a bus, ecc.), con prestazioni differenti in funzione dei campi applicativi
- Controllori a Logica Programmabile (PLC): hanno sistemi operativi real-time e sono *costruttivamente* robusti
- Personal Computer: tipicamente utilizzati per la realizzazione dell'interfaccia operatore (HMI)
- Sistemi per il controllo dedicati al controllo di macchine complesse (ad esempio il controllo assi di un robot)

Requisiti dei dispositivi di controllo 1/6

Requisito fondamentale

I **due requisiti essenziali** che caratterizzano i dispositivi di controllo sono:

- **la capacità di rispondere a stimoli provenienti dall'esterno (dal *Processo Fisico*);**
- **la capacità di interagire con l'ambiente esterno modificando il comportamento del *Processo Fisico*.**

Un dispositivo di controllo è un particolare sistema per l'elaborazione dell'informazione, destinato al controllo dei processi fisici.

Un dispositivo di controllo deve interfacciarsi con l'ambiente esterno.

Nel **modello proposto** i sensori e gli attuatori fanno parte del Processo Fisico, quindi i dispositivi di controllo devono possedere opportuni moduli di interfaccia con sensori ed attuatori (*moduli di I/O*).

Requisiti dei dispositivi di controllo 2/6

Funzionalità di un dispositivo di controllo

- controllo a ciclo chiuso classico (regolazione, asservimento)
- calcolo dei valori di riferimento (set-point)
- gestione di allarmi e anomalie
- realizzazione dell' interfaccia operatore (HMI)
- realizzazione dell' interfaccia di comunicazione con altri dispositivi

In generale un dispositivo di controllo non deve necessariamente realizzare tutte le funzionalità elencate.

Requisiti dei dispositivi di controllo 3/6

Modalità di esecuzione dei compiti

Un' applicazione può essere suddivisa in più compiti (task) da gestire in maniera differente a seconda dei casi.

Un dispositivo di controllo può prevedere le seguenti modalità di esecuzione dei compiti:

- periodico (es. controllo in retroazione *classico*)
- ciclico (es. sequenzializzazione di movimentazioni)
- ad eventi (es. gestione di una condizione di anomalia)

Anche in questo caso non tutti i dispositivi di controllo devono necessariamente prevedere tutte le modalità di esecuzione elencate.

Requisiti dei dispositivi di controllo 4/6

Requisiti di tempo reale

Interfacciandosi con il Processo Fisico, i dispositivi di controllo hanno la necessità di operare in **tempo reale**.

Un sistema a tempo reale (real-time) deve rispondere in modo certo ed entro tempi fissati ad eventi esterni asincroni (non prevedibili).

In un sistema a tempo reale (*hard real-time*), quindi, un **ritardo** nell'esecuzione è considerato un **malfunzionamento** del sistema stesso. Nel caso di sistemi *soft real-time* un *ritardo* di esecuzione comporta un *degrado delle prestazioni*.

Requisiti dei dispositivi di controllo 5/6

Scalabilità di un dispositivo di controllo

La **scalabilità** è la capacità di un sistema di *crescere* o *decrescere* (aumentare o diminuire di scala) in funzione delle funzionalità richieste.

Un dispositivo di controllo scalabile, quindi, consente di inserire o meno delle funzionalità solo se necessarie.

Requisiti dei dispositivi di controllo 6/6

Solidità di un dispositivo di controllo

Tipicamente i dispositivi di controllo devono operare in ambiente *ostili*.

Per questo motivo la **solidità** è un requisito importante. In particolare un dispositivo di controllo deve essere **fisicamente robusto** nei confronti di:

- urti
- vibrazioni
- interferenze elettromagnetiche
- variazioni di temperatura
- presenza di polveri
- etc.

Dispositivi di controllo per applicazioni generiche 1/17

Architetture - Classificazione

Classificazione delle architetture hardware dei dispositivi di controllo:

- **MONOLITICHE** (singola scheda o singolo chip)
- **A BUS** (architettura modulare)
- **IBRIDE**
- **PC based**

Dispositivi di controllo per applicazioni generiche 2/17

Dispositivi di controllo monolitici

I controllori **monolitici** comprendono in un **unico dispositivo fisico** tutti i componenti necessari per realizzare le funzioni di controllo.

In particolare posseggono le interfacce con il Processo Fisico integrate (moduli di I/O) all'interno del dispositivo stesso.

I dispositivi di controllo monolitici possono essere realizzati:

- su singola scheda (single board)
- su singolo chip (single chip)

Dispositivi di controllo per applicazioni generiche 3/17

Caratteristiche dei dispositivi monolitici

Un dispositivo di controllo monolitico comprende:

- l'unità di elaborazione
- la memoria non volatile (per la memorizzazione del programma utente)
- la memoria volatile (per la memorizzazione dei dati)
- il clock per la temporizzazione
- i dispositivi di interfaccia analogici (campionatori, ADC e DAC) e/o digitali
- sistema di gestione delle interruzioni

Dispositivi di controllo per applicazioni generiche 4/17

Controllori *single chip* (microcontrollori)

I controllori monolitici su *singolo chip*:

- sono molto diffusi negli ambiti applicativi in cui la potenza di elaborazione richiesta non è elevata ed il numero di ingressi e uscite è ridotto (elettrodomestici “intelligenti”, stampanti, controller di HD, controllori per l'automotive, ecc.)
- utilizzati per realizzare controllori *embedded*
- tipicamente vengono programmati in linguaggio macchina
- hanno un sistema operativo ridotto (scheduler + gestione comunicazioni inter-processo)
- non possiedono interfacce di comunicazione con altri dispositivi di controllo

Dispositivi di controllo per applicazioni generiche 5/17

Controllori *single board*

I controllori monolitici su *singola scheda*:

- hanno architetture basate su microprocessori (in passato esclusivamente basate su RISC oppure DSP)
- posseggono sistemi operativi scalabili
- a volte prevedono un'interfaccia di comunicazione con altri dispositivi (sempre più comune l'utilizzo di Ethernet)

Dispositivi di controllo per applicazioni generiche 6/17

Limitazioni dei dispositivi monolitici

Le motivazioni principali che limitano l' utilizzo di dispositivi di monolitici, in particolare single chip, in applicazioni di controllo complesse sono:

- la memoria ridotta
- la limitata potenza di calcolo
- la possibilità di gestire solo un numero ridotto di ingressi e uscite
- l' assenza di interfacce di comunicazione (*ma basta passare da single chip a single board!*)

Dispositivi di controllo per applicazioni generiche 7/17

Esempi di architetture monolitiche

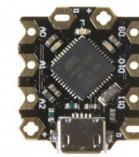
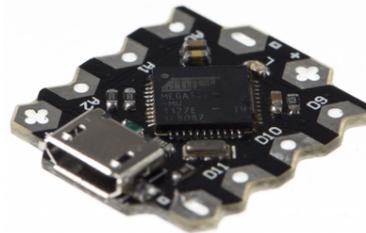


Controllore a logica programmabile monolitico



Microcontrollore PIC
(microcontrollore di vecchia generazione)

Microcontrollore
Beetle Leonardo



Dispositivi di controllo per applicazioni generiche 8/17

L'architettura a bus

Quando la complessità dell'applicazione di controllo aumenta non si possono più utilizzare dispositivi monolitici e si deve ricorrere a dispositivi con **architettura a bus**.

L'architettura a bus offre:

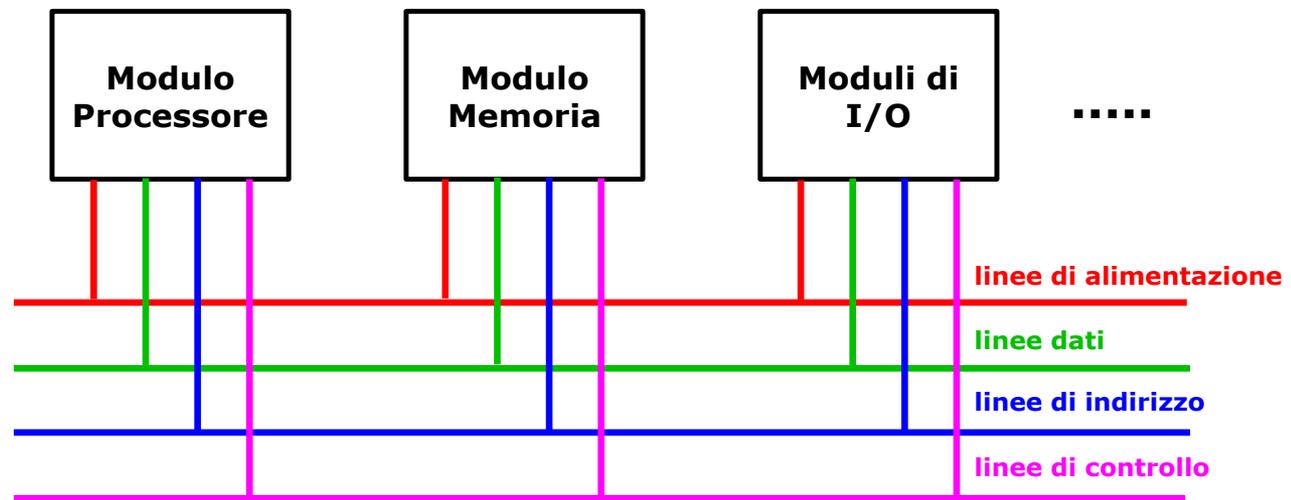
- una maggiore capacità di elaborazione

e rende *più semplice*:

- trattare un numero elevato di ingressi e uscite
- comunicare attraverso reti informatiche
- realizzare interfacce uomo-macchina complesse

Dispositivi di controllo per applicazioni generiche 9/17

Il bus



Un **bus**:

- è un insieme di linee elettriche, raggruppate per funzioni, che connettono tra loro varie schede o moduli
- è caratterizzato dal protocollo attraverso il quale i moduli possono usare le linee elettriche per comunicare tra loro
- definisce anche le caratteristiche elettriche e meccaniche dei connettori che servono per collegare i moduli tra loro

Dispositivi di controllo per applicazioni generiche 10/17 Bus industriali

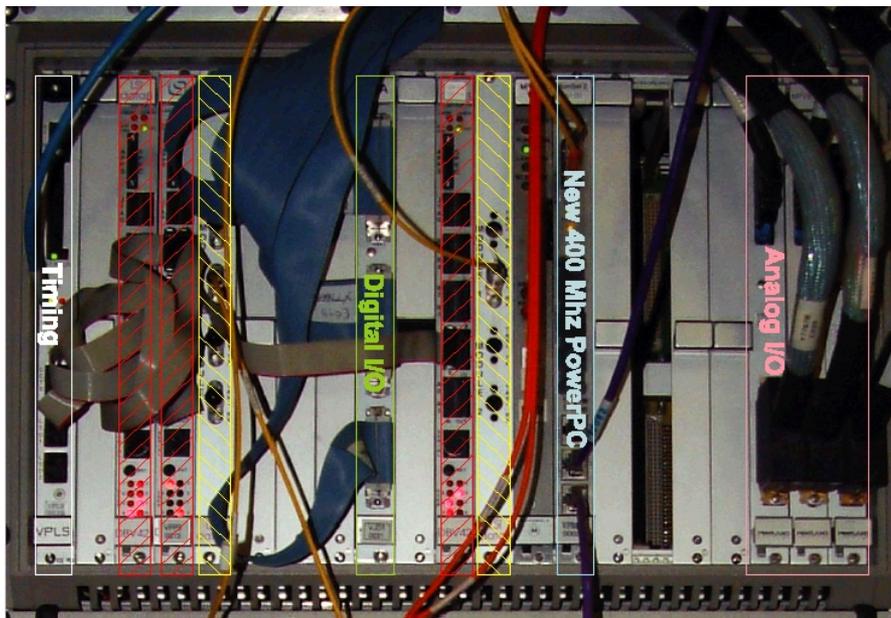
Esempi di bus industriali:

- VME
- EISA
- PCI
- PCI Express
- CompactRio (cRIO)
- ATCA

Dispositivi di controllo per applicazioni generiche 11/17

Esempi di architetture a bus

Controllore di corrente forma del plasma nel tokamak [JET](#)

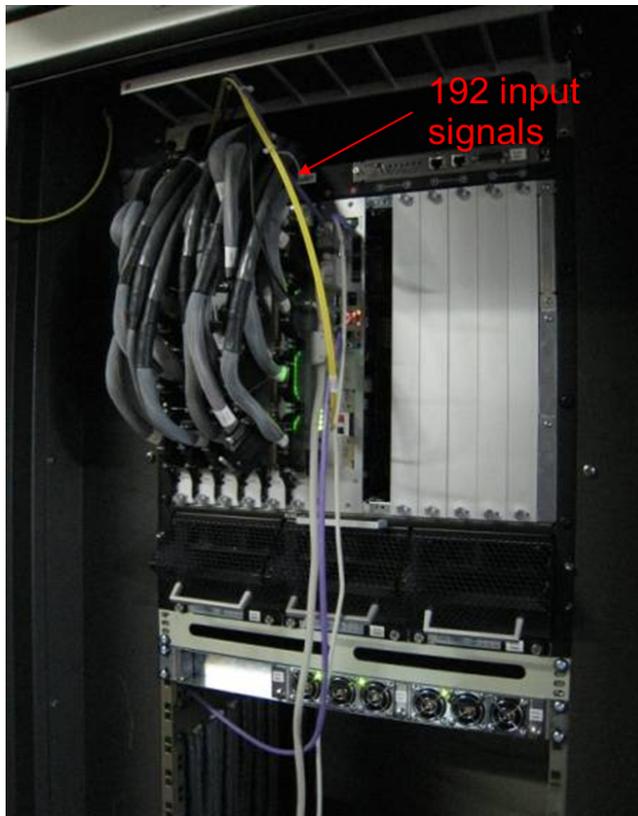


Architettura di controllo su bus VME:

- Scheda processore
 - PowerPC 400MHz con
 - 512 MB di memoria volatile
 - Interfacce di comunicazione Ethernet e [ATM](#)
- Schede di ingresso e uscita digitali
- Schede di ingresso e uscita analogiche
- Sistema Operativo: [VxWorks](#)
- Tempo di ciclo: 2ms

Dispositivi di controllo per applicazioni generiche 12/17

Esempi di architetture a bus

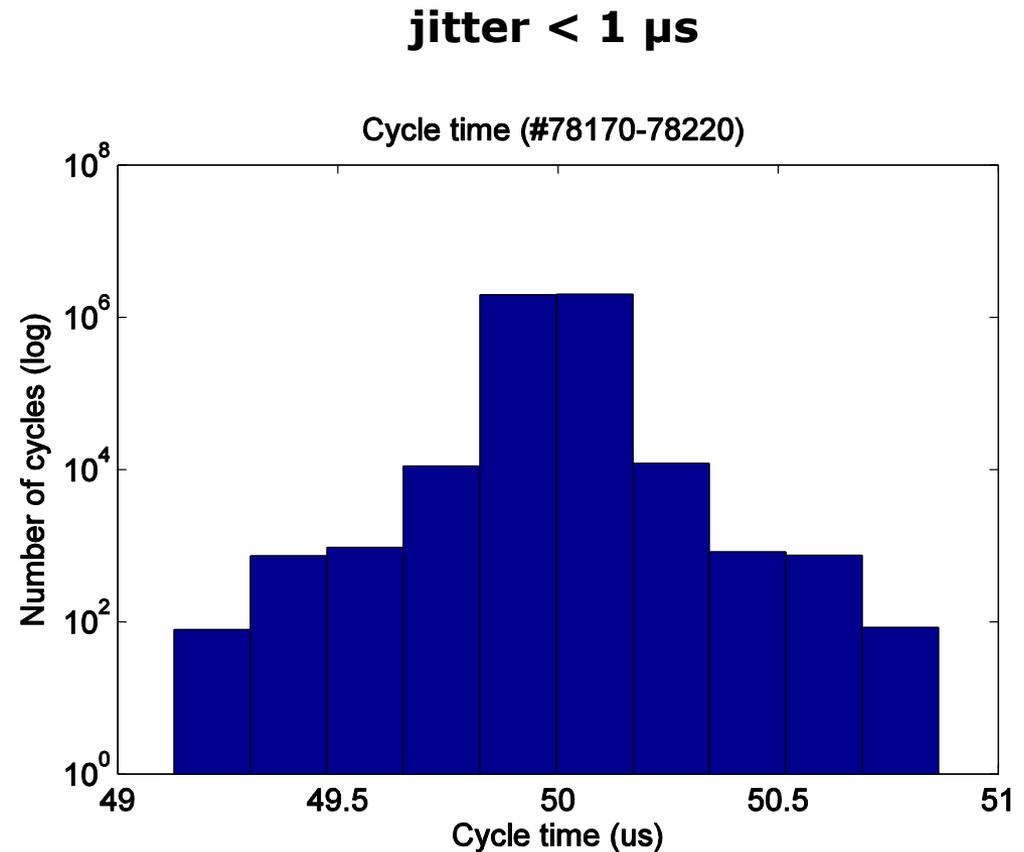
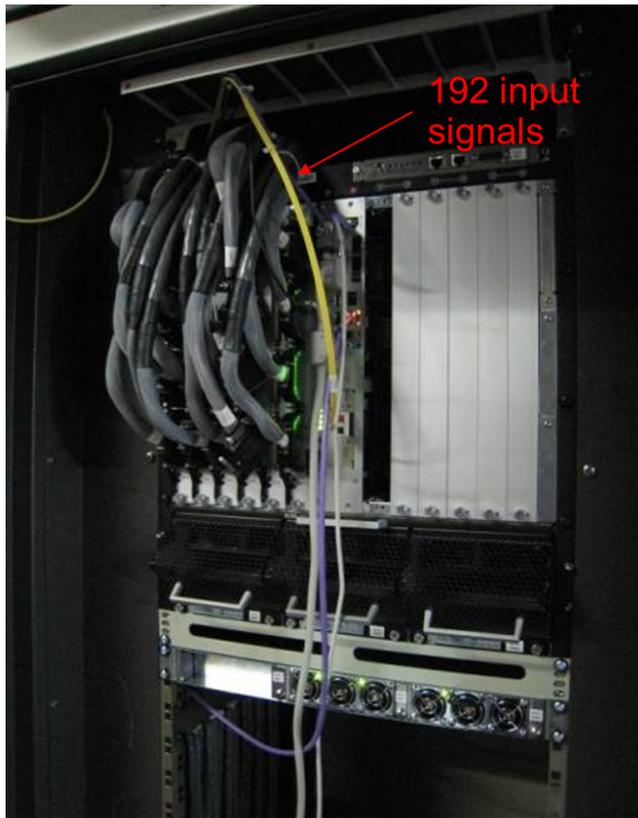


Sistema di stabilizzazione verticale del plasma nel tokamak JET

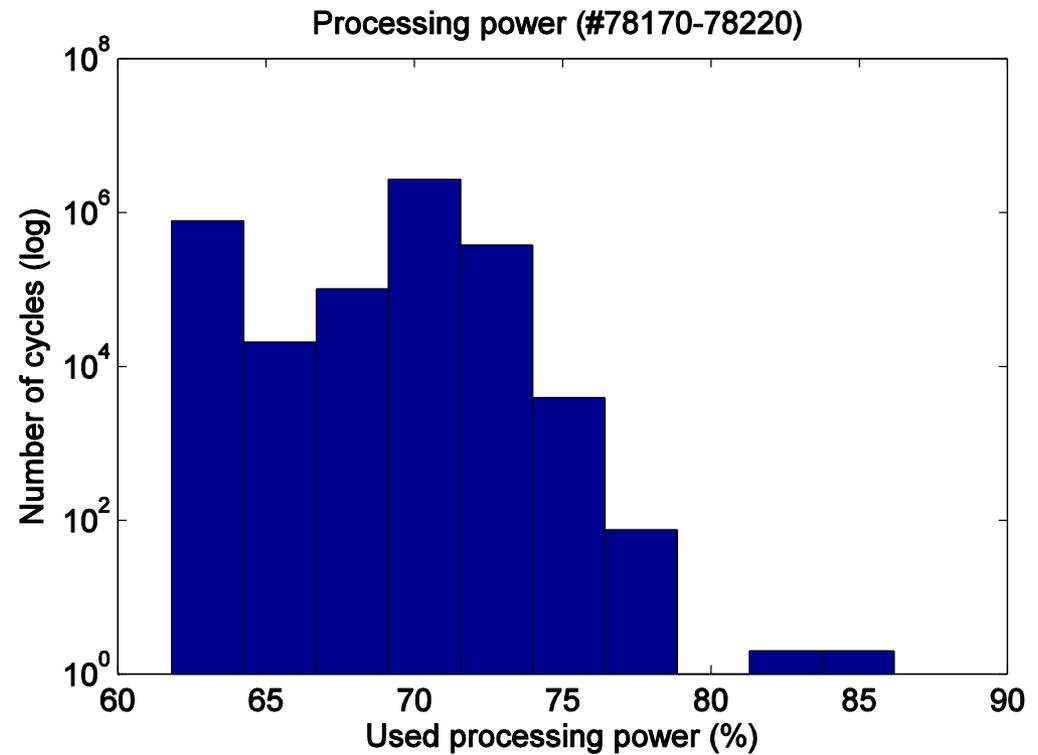
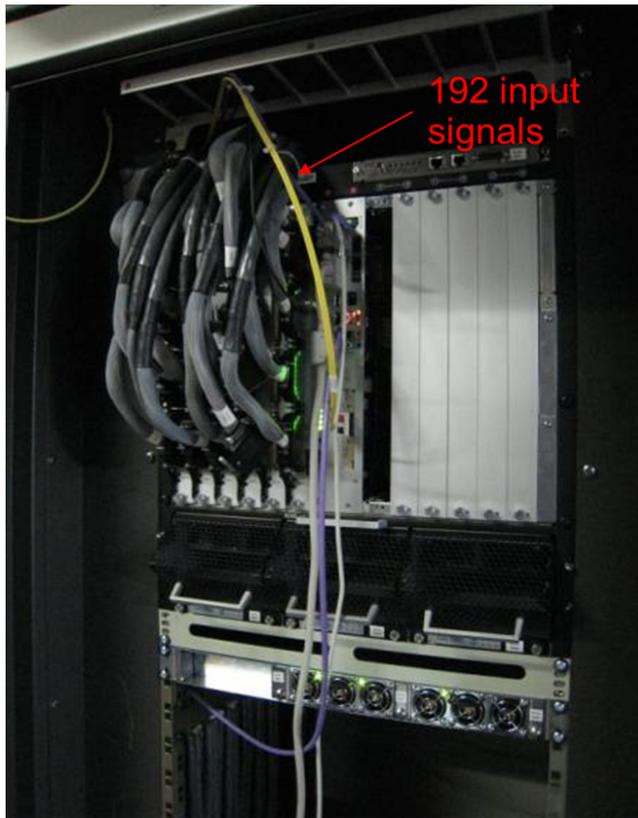
Architettura a bus basata su ATCA e PCIe:

- Scheda multiprocessore (Intel Core2 Quad)
- Ingressi: 192 18 bit ADC @2MHz
- Uscite: 5 DAC
- Sistema Operativo: Linux+RTAI
- Tempo di ciclo 50 μ s (jitter < 1 μ s)

Dispositivi di controllo per applicazioni generiche 13/17 Esempi di architetture a bus



Dispositivi di controllo per applicazioni generiche 14/17 Esempi di architetture a bus



Dispositivi di controllo per applicazioni generiche 15/17

Il controllore a logica programmabile (PLC)

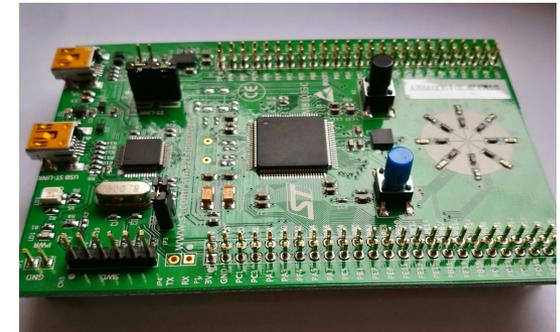
Il Controllore a Logica Programmabile (PLC):

- è il più diffuso dispositivo di controllo per l'automazione industriale
- è un dispositivo modulare con *architettura a bus*
- è specializzato particolarmente (*ma non solo!*) per il controllo logico/sequenziale
- è un dispositivo di costruzione robusta adatto ad operare in ambienti ostili

Dispositivi di controllo per applicazioni generiche 16/17

Architetture *ibride*

- Microcontrollori di *nuova* generazione (Arduino, STMxx,...)
 - Utilizzati spesso per prototipazione
- Architettura monolitica (single board)
- Possibilità di *espansione* attraverso *shield* (architettura *bus-like*)



Dispositivi di controllo per applicazioni generiche 17/17

Dispositivi con architettura **PC based**

I dispositivi con architettura **PC based** sono dei personal computer *general purpose* sui quali viene installato un sistema operativo real-time.

Vantaggi:

- riduzione dei costi
- ampia scelta di fornitori hardware e software
- semplificazione della manutenzione
- un PC standard prevede delle funzionalità che nelle altre architetture sono considerate opzionali (es. presenza di una memoria di massa, interfaccia grafica, interfaccia di comunicazione, ecc.)

•Svantaggi:

- numero limitato di schede di I/O dalle caratteristiche non particolarmente spinte
- componenti fisicamente poco robusti, quindi non adatti al funzionamento in ambienti ostili

Dispositivi di controllo specializzati 1/6

I Controllori specializzati

La diffusione in ambito industriale di alcuni tipi di controllo ha fatto sì che venissero sviluppati dei particolari **dispositivi di controllo dedicati o specializzati**.

A differenza dei dispositivi *general purpose*, per i quali lo sviluppatore deve progettare ed implementare l'algoritmo di controllo, i controllori specializzati richiedono **solo una configurazione** da parte dell'utente.

Dispositivi di controllo specializzati 2/6

Controllori di macchine a controllo numerico

Una macchina a controllo numerico (**Computer Numerical Control machine**) è un macchinario che esegue lavorazioni e movimentazioni attraverso **assi di rotazione e traslazione controllati**.

Tipicamente è dotata di un linguaggio di programmazione di alto livello orientato alla funzionalità svolta dalla macchina (ad esempio la possibilità di specificare un movimento di un braccio robotico per punti).

Esempi di macchine CNC: torni, frese, braccio manipolatore robotico.

Dispositivi di controllo specializzati 3/6

Requisiti per un dispositivo di controllo di macchine CNC

L'architettura di controllo delle macchine CNC deve:

- controllare i movimenti di ogni asse
- generare i riferimenti corretti
- coordinare tra loro i movimenti degli assi
- realizzare l'interfaccia uomo-macchina
- avere la capacità di comunicare con dispositivi esterni per necessità di coordinamento
- avere capacità di autodiagnosica

Dispositivi di controllo specializzati 4/6

Architettura di un dispositivo di controllo per macchine CNC

I dispositivi di controllo delle macchine CNC hanno tipicamente un architettura a **bus**, in cui sono presenti:

- un modulo per ognuno degli assi da movimentare
- un modulo che interpreta il programma utente e manda gli opportuni comandi ai moduli di movimentazione
- un modulo che realizza il controllo logico/sequenziale
- un per la realizzazione dell' interfaccia uomo macchina

Dispositivi di controllo specializzati 5/6

I regolatori PID

I regolatori **proporzionali-integrali-derivativi (PID)** sono i dispositivi più diffusi per la **regolazione** in ambito industriale.

PID - legge di controllo classica

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

Sono spesso realizzati con architetture monolitiche di dimensioni ridotte.

Dispositivi di controllo specializzati 6/6 Controllori per motori elettrici

Il controllo dei motori elettrici (in c.c., in c.a. oppure passo passo) è una delle applicazioni più diffuse nel controllo industriale.

Per questo motivo esistono in commercio dispositivi di controllo specializzati per le varie tipologie di motori.

Indice Letture

Materiale di studio

- Introduzione e Capitoli 6, 7 e 9 da [\[1\]](#)

Fonti in rete

- ☞ [Sito Mathworks](#)
- ☞ [Introduzione a Matlab](#)
- ☞ [Introduzione a Step 7](#)
- ☞ [ChibiOS](#)
- ☞ [ChiBiStudio](#)

Bus industriali

- ☞ [VME](#)
- ☞ [EISA](#)
- ☞ [PCI](#)
- ☞ [PCI Express](#)
- ☞ [CompactRIO](#)
- ☞ [ATCA](#)