



SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA



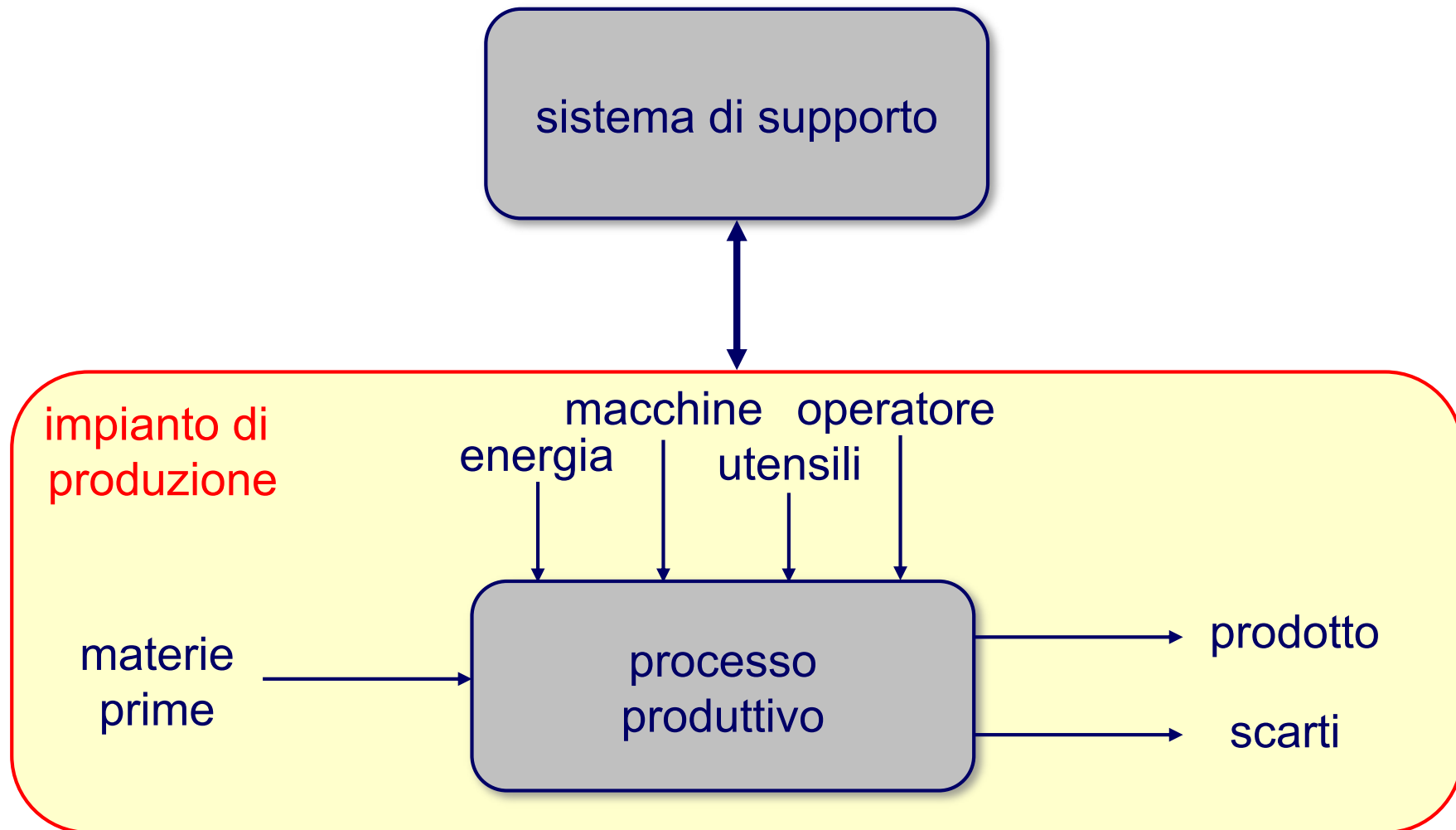
# CIM: Computer Integrated Manufacturing

Automazione

Alessandro De Luca

# Sistema di supporto alla produzione

Il sistema di supporto alla produzione è l'insieme di attività di gestione delle informazioni legate alla produzione



# Sistema di supporto alla produzione

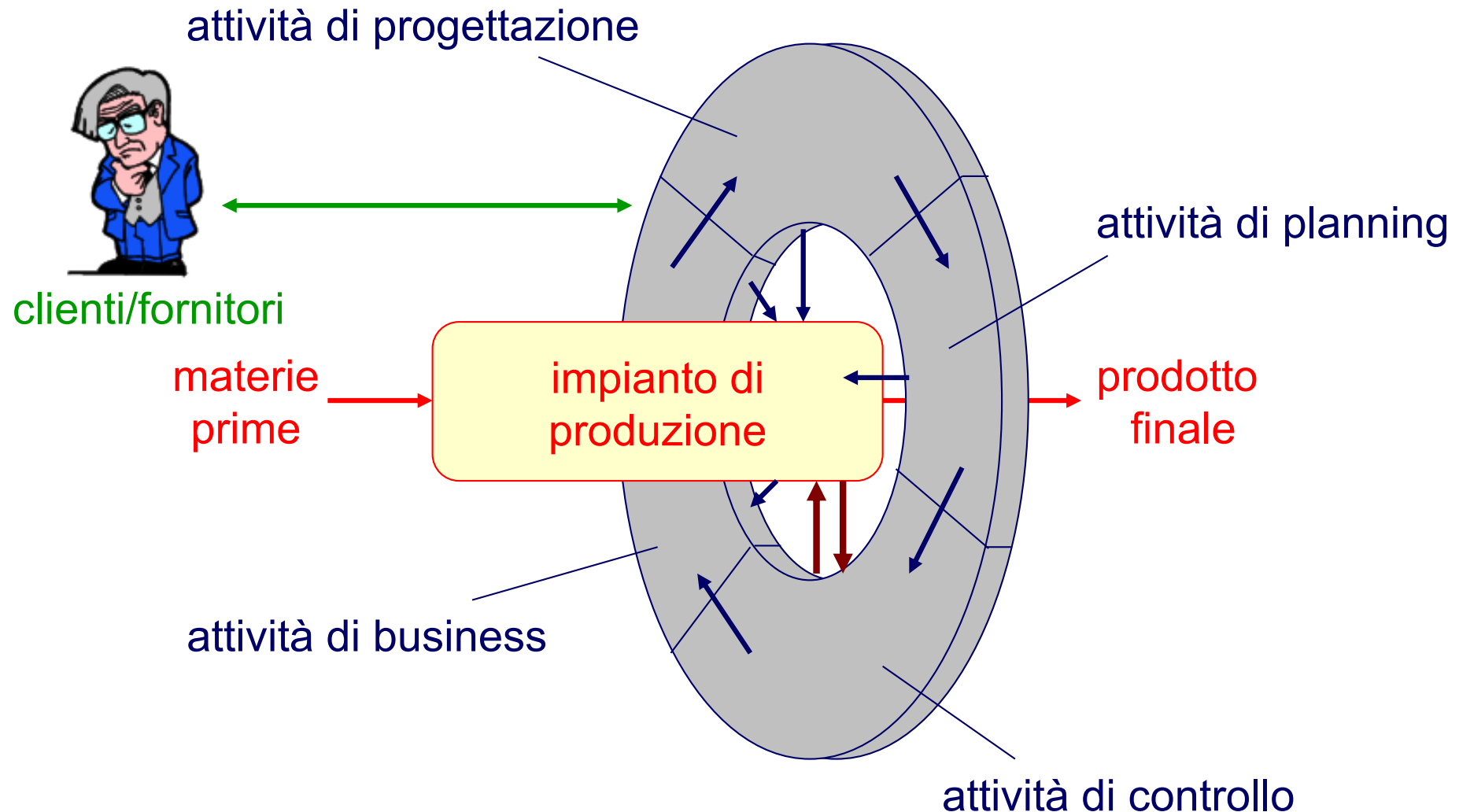
---

Il sistema di supporto alla produzione è l'insieme di **attività** di gestione delle informazioni legate alla produzione

- ❑ business: sono le principali attività di contatto con il cliente, punto di partenza e di arrivo del processo; includono gestione ordini, marketing, vendita, bilancio, budget, ...
- ❑ progettazione: attività volte alla progettazione del prodotto sulla base delle esigenze del cliente (o del mercato)
- ❑ planning: sulla base delle funzioni di business e di progettazione, viene pianificata la produzione; si determinano le sequenze di lavorazione, le politiche di stoccaggio e di rifornimento
- ❑ controllo: sono le attività di gestione e supervisione del processo di produzione; includono il controllo dei flussi produttivi e la verifica della qualità di processi e prodotti

# Sistema di supporto alla produzione

E' schematizzabile come un anello di attività che circondano le attività vere e proprie di produzione, gestendo il flusso delle informazioni



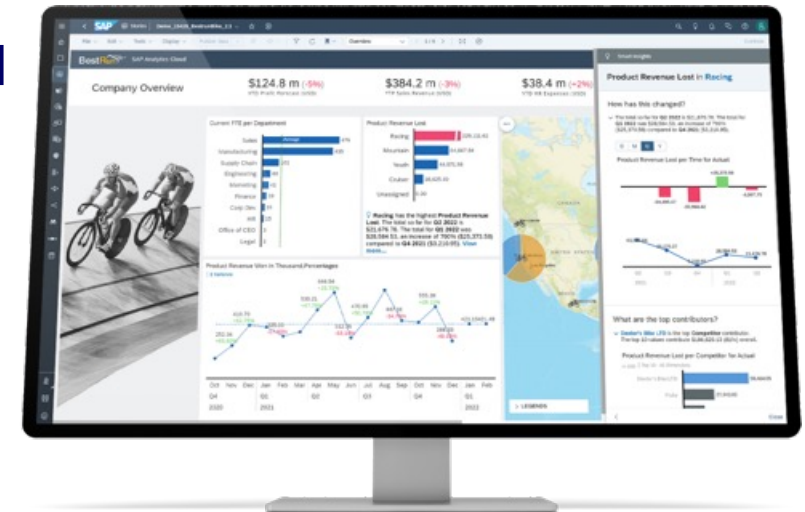
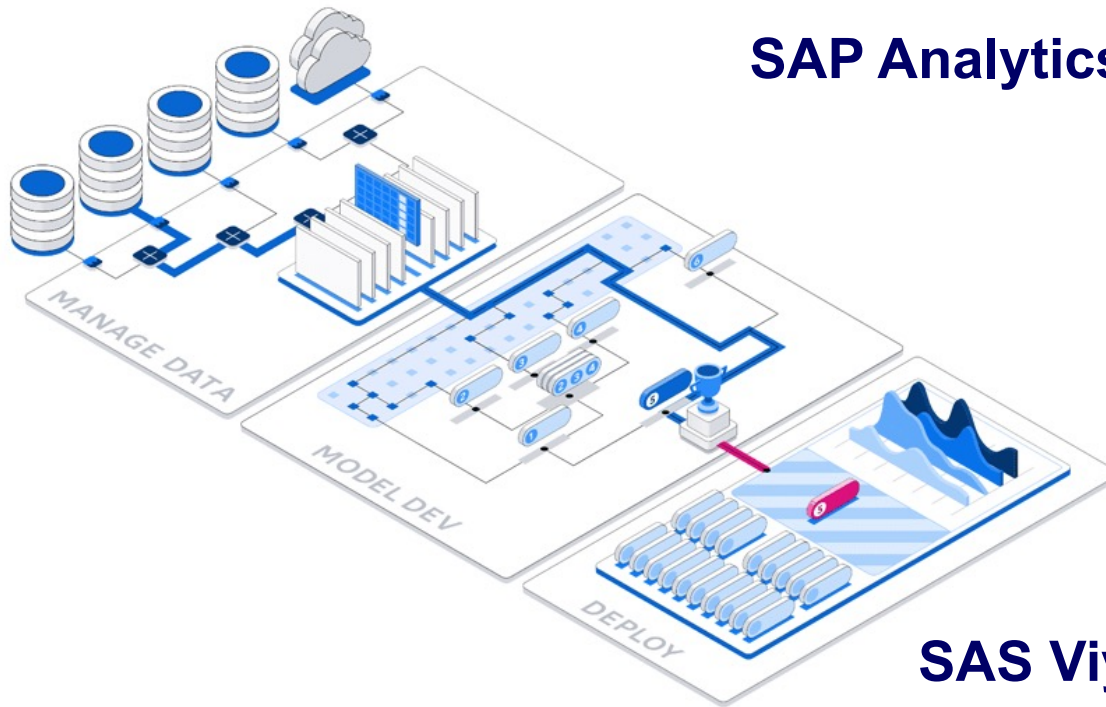
# Automazione delle attività di supporto

supporto alle attività di business

- ❑ **Enterprise Resource Planning (ERP)**: un insieme di applicazioni informatiche volte all'automazione di attività di amministrazione, logistica, gestione della produzione, risorse umane, ...
  - ➔ contabilità, controllo di gestione, gestione del personale
  - ➔ gestione degli acquisti, dei magazzini
  - ➔ gestione della produzione, dei progetti
  - ➔ gestione delle vendite, della distribuzione
  - ➔ gestione della manutenzione impianti
    - IBM WebSphere (in Java), Microsoft Dynamics 365, Oracle Fusion Cloud ERP, SAP ERP (su piattaforma NetWeaver)
- ❑ **Decision Support System (DSS)**: software che rende disponibili una serie di funzionalità di supporto (analisi di “big data”, modelli di valutazione multi-obiettivo) per migliorare il processo decisionale
  - ➔ Business Intelligence, Sistemi Esperti, modelli di supporto decisionale
    - SAP Analytics Cloud, SAS Viya

# AI e Automazione di attività di supporto

## SAP Analytics Cloud



## SAS Viya - AI and Analytics Platform

le aziende stanno riscoprendo l'importanza strategica dei dati

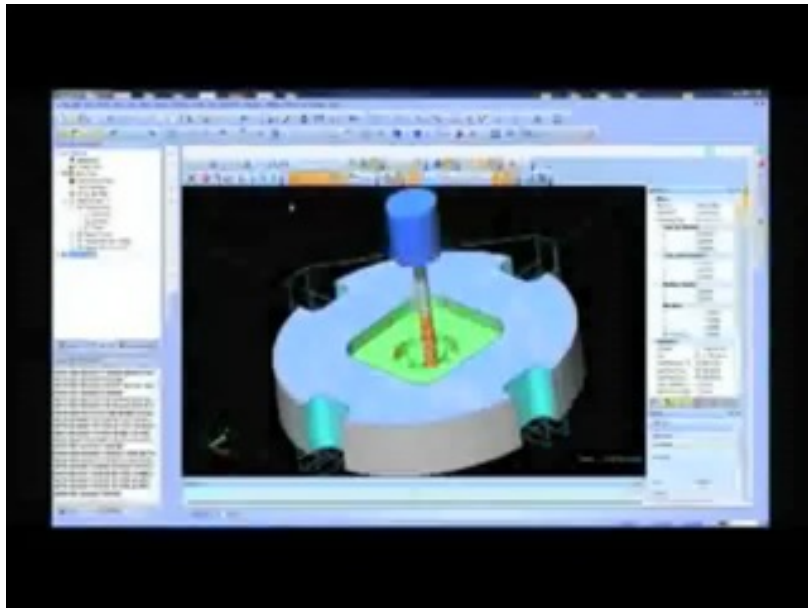
- ❑ **Internet of Things** (IoT) consente la raccolta massiva di informazioni, con un forte potenziale se elaborate e analizzate
- ❑ le tecniche di **Artificial Intelligence** (AI) si sviluppano anche grazie all'attuale disponibilità di grandi quantità di dati (Big Data)
- ❑ il **Machine Learning** (ML) effettua previsioni utilizzando statistiche e data mining, con un efficacia molto maggiore quando si basa su Big Data

# Automazione delle attività di supporto

supporto alle attività di progettazione

- ❑ **Computer Aided Design (CAD):** insieme di software tools che assistono i progettisti nelle attività di progettazione
- ❑ **Computer Aided Engineering (CAE):** software tools per la verifica delle funzionalità del progetto
  - ➔ AutoCAD (AutoDesk), SolidEdge, SolidWorks, CATIA, Siemens NX, Pro/Engineering (ora Creo)

video



video





# Automazione delle attività di supporto

supporto alle attività di planning e controllo

- ❑ **Computer Aided Manufacturing (CAM):** software che permette di automatizzare le prove di fattibilità del processo di produzione e di organizzare la produzione stessa (spesso integrato nel CAD)
- ❑ dal modello CAD si ottiene il programma macchina CNC
  - ➔ caricamento di un modello CAD
  - ➔ impostazione del sistema di coordinate usato dalla macchina utensile
  - ➔ impostazione dei parametri di lavorazione
  - ➔ generazione delle istruzioni per la macchina utensile, salvate in un file
  - ➔ invio dei dati al controllo numerico della macchina
- ❑ **Computer Aided Process Planning (CAPP):** software che permette di automatizzare/ottimizzare il planning della produzione

video

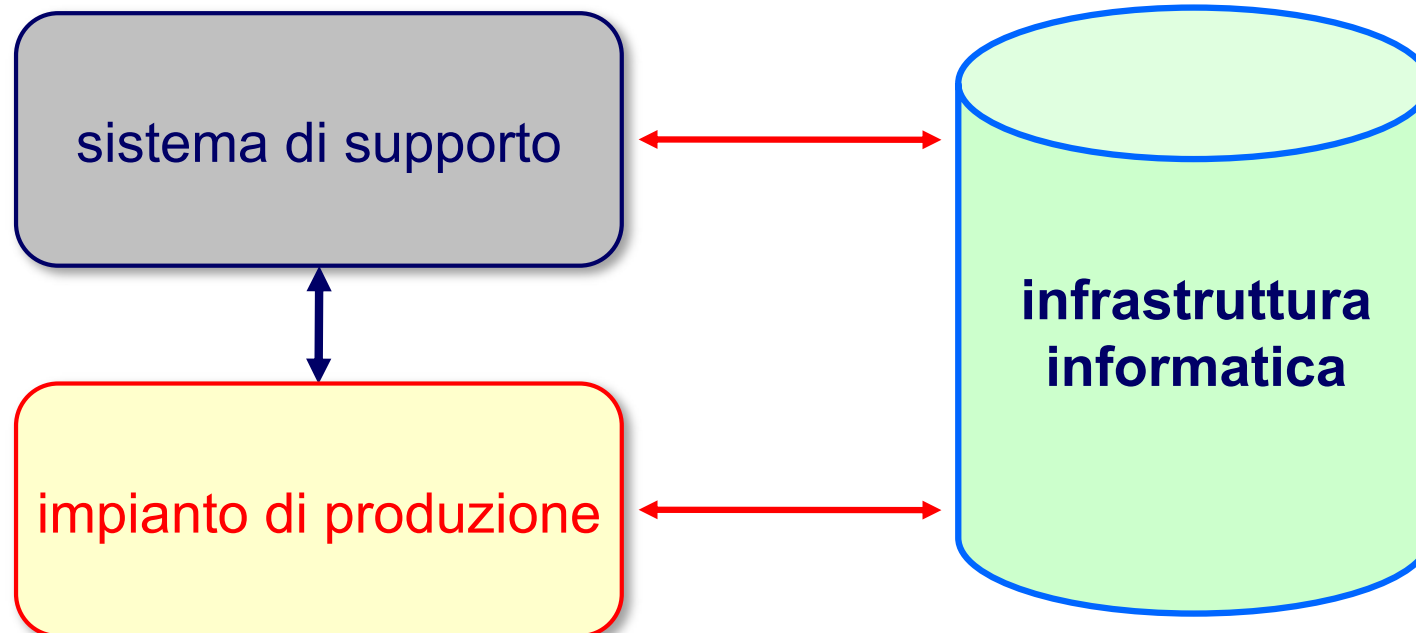




# Computer Integrated Manufacturing

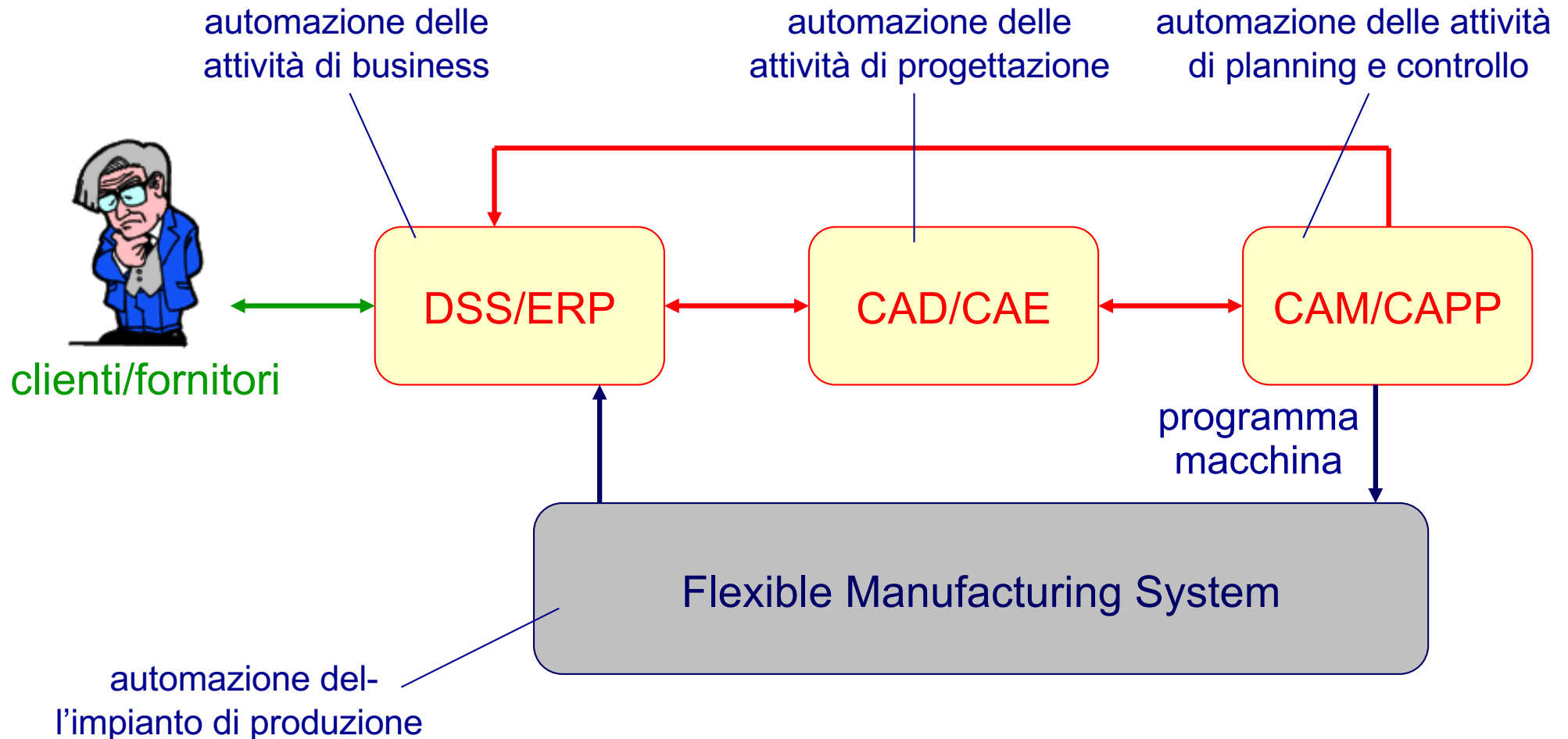
**Computer Integrated Manufacturing (CIM):** un modello teorico di sistema di produzione che prevede l'integrazione dei processi produttivi con i sistemi di automazione e con i sistemi informativi gestionali

- un'unica infrastruttura informatica integra l'automazione dei processi produttivi con quella delle attività di supporto

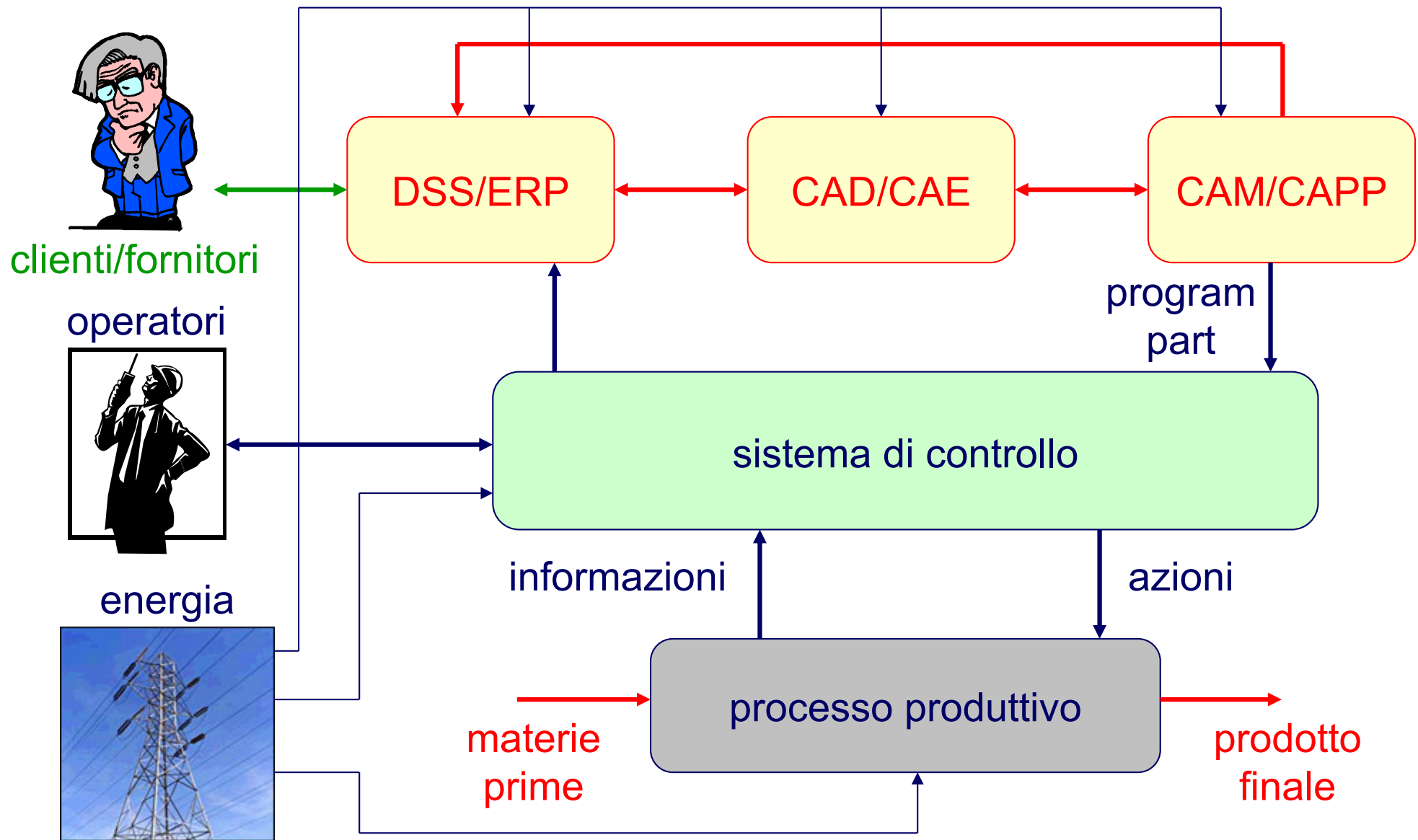


# Computer Integrated Manufacturing

Nei moderni sistemi automatizzati, l'integrazione informatica della automazione dell'impianto di produzione e delle attività di supporto permettono di acquisire un vantaggio competitivo



# Computer Integrated Manufacturing



## Vantaggi del CIM

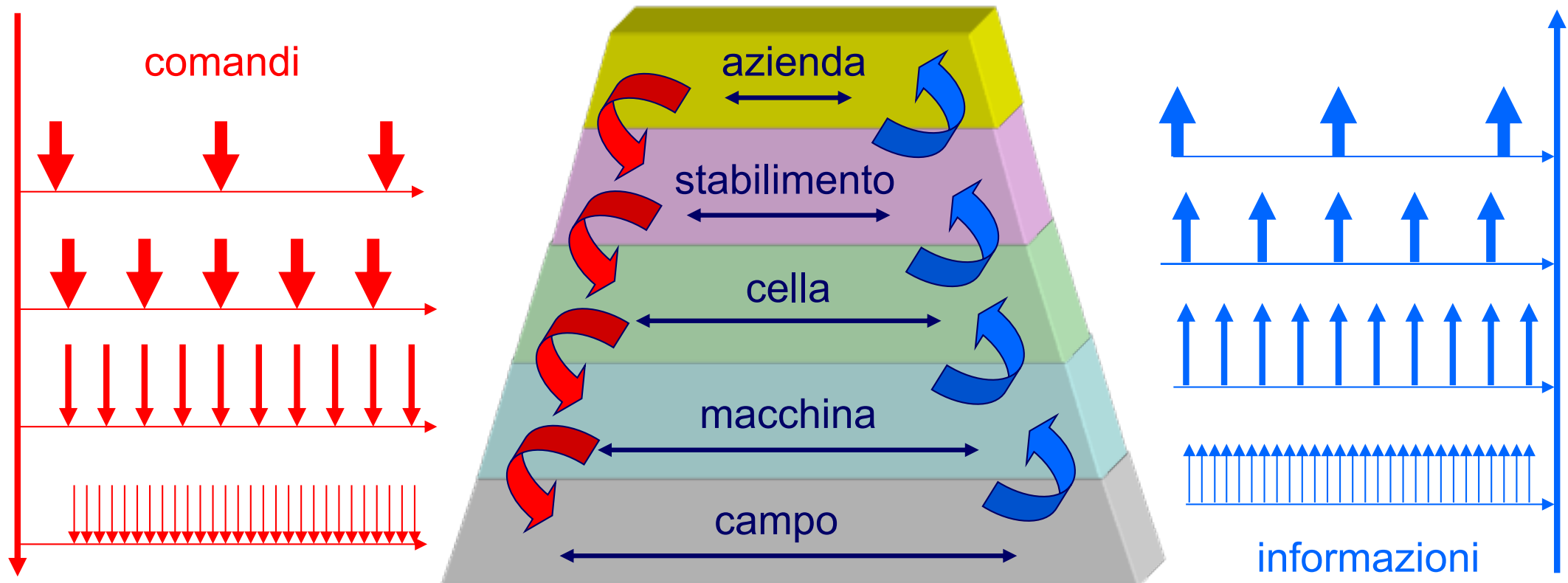
- ❑ miglioramento della qualità di produzione
- ❑ riduzione di tempi e costi
- ❑ aumento della flessibilità della produzione
- ❑ diminuzione degli scarti
- ❑ fondamentale per conformarsi a leggi e regolamenti su sicurezza del processo produttivo, qualità del prodotto finale e riduzione dell'impatto energetico e ambientale

Il modello CIM è fortemente gerarchico

- ❑ attività di supporto a livello superiore rispetto a quelle di produzione
- ❑ gerarchia all'interno delle attività di supporto
  - ➔ l'attività di business influenza la progettazione e il planning della produzione
- ❑ gerarchia anche all'interno delle attività di produzione
  - ➔ una particolare lavorazione meccanica influenza i movimenti delle singole parti della macchina utensile
- ❑ l'automazione di un passo produttivo (ad es. la rotazione di un mandrino) è a un livello inferiore rispetto all'automazione di tutta la macchina (sequenze di azioni); questa a sua volta è a un livello inferiore rispetto al planning della produzione

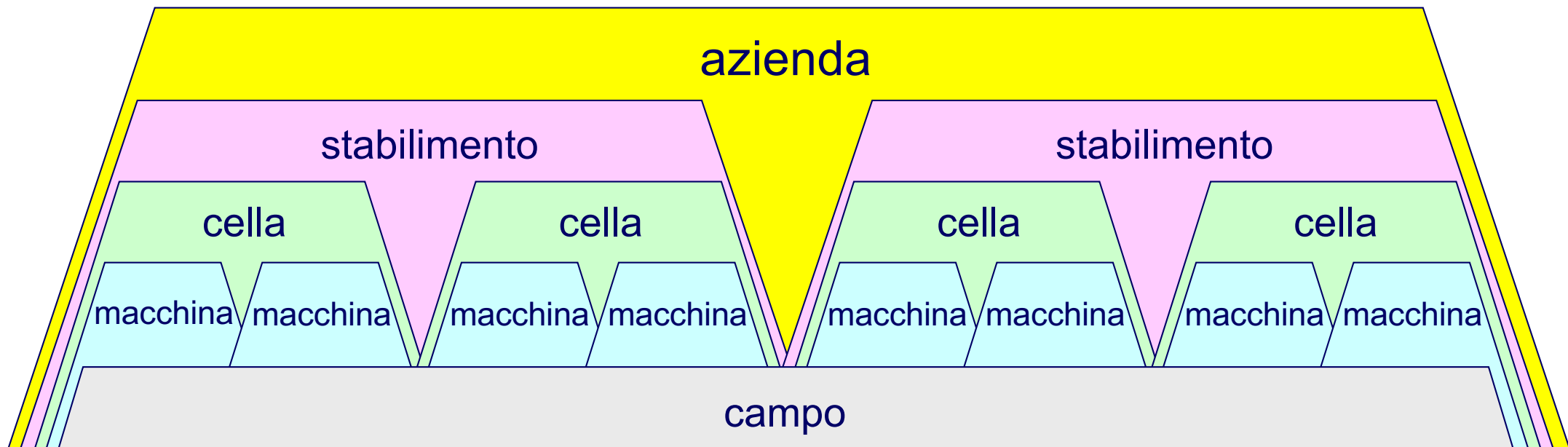
## Il modello CIM è piramidale

- suddiviso in cinque livelli
- in ciascun livello l'automazione coinvolge funzioni di
  - acquisizione, manipolazione, trasferimento di informazioni
  - elaborazione di strategie
  - attuazione delle strategie elaborate



Il modello CIM ha una architettura modulare

- comunicazione sia orizzontale, sia verticale
- ...anche se quella verticale è da preferire!



per i livelli di campo e macchina serve hardware di controllo **diretto** o **logico**, dedicato, con sistemi digitali a microprocessore, con compiti e **vincoli real-time**



# Modello CIM: livello di campo

È il livello più basso della gerarchia e comprende i componenti hardware che eseguono le attività di produzione e il loro controllo

- ❑ sensori, attuatori, componenti dell'impianto
- ❑ segnali ingresso/uscita interfacciati con il livello superiore al processo fisico
- ❑ ridotta complessità, anche se cresce la tendenza a dotare sensori ed attuatori di un'**intelligenza** dedicata al pre-processamento dell'informazione, alla gestione della interfaccia di comunicazione e all'auto-diagnosi dei guasti
- ❑ i dispositivi di campo sono raggruppati in semplici sistemi di controllo
  - ➔ esempio: l'asservimento di posizione del motore di un giunto di un robot
  - ➔ viene visto dal livello superiore come un attuatore **ideale**
- ❑ hardware di controllo: dedicato, real-time, con sistemi digitali a microprocessore (**controllori embedded**)



# Modello CIM: livello di macchina

Gli elementi del livello di campo vengono raggruppati al livello superiore per formare gruppi di componenti atti a fornire una determinata funzionalità

- ❑ ad esempio: una macchina utensile o un robot
- ❑ questi componenti sono organizzati in sistemi di controllo
  - ➔ regolazione di variabili analogiche
  - ➔ realizzazione sequenziale di operazioni
    - esempio: a livello di campo si controllano le posizioni dei singoli giunti; a livello di macchina viene pianificato il movimento del robot nello spazio operativo e la sequenza delle azioni che deve effettuare
- ❑ il controllo a livello di macchina viene visto come un attuatore **ideale** dal livello superiore, che lo utilizza per il coordinamento tra le macchine
- ❑ hardware di controllo: dedicato, real-time, controllori logici programmabili (**PLC**) e controllori embedded



# Modello CIM: livello di cella

Gli elementi del livello di macchina vengono raggruppati al livello superiore per formare celle di produzione

- ❑ una cella di produzione è un insieme di macchine interconnesse fisicamente da un sistema locale di trasporto/stoccaggio materiali, controllate in modo coordinato per realizzare un ben definito processo produttivo (per una 'famiglia' di prodotti)
- ❑ i sistemi di controllo costituenti questo livello regolano e supervisionano il funzionamento coordinato di tutte le macchine facenti parte della cella
- ❑ le operazioni svolte a questo livello sono analoghe a quelle del livello di macchina risultando soltanto più complesse
- ❑ hardware di controllo: real-time, controllori logici programmabili (**PLC**)



# Modello CIM: livello di stabilimento

Racchiude tutte le celle o le linee produttive facenti parte di un impianto industriale; riceve le istruzioni dal livello gestionale (planning, gestione degli ordini, ecc.) e le attua sotto forma di piani operativi per la produzione

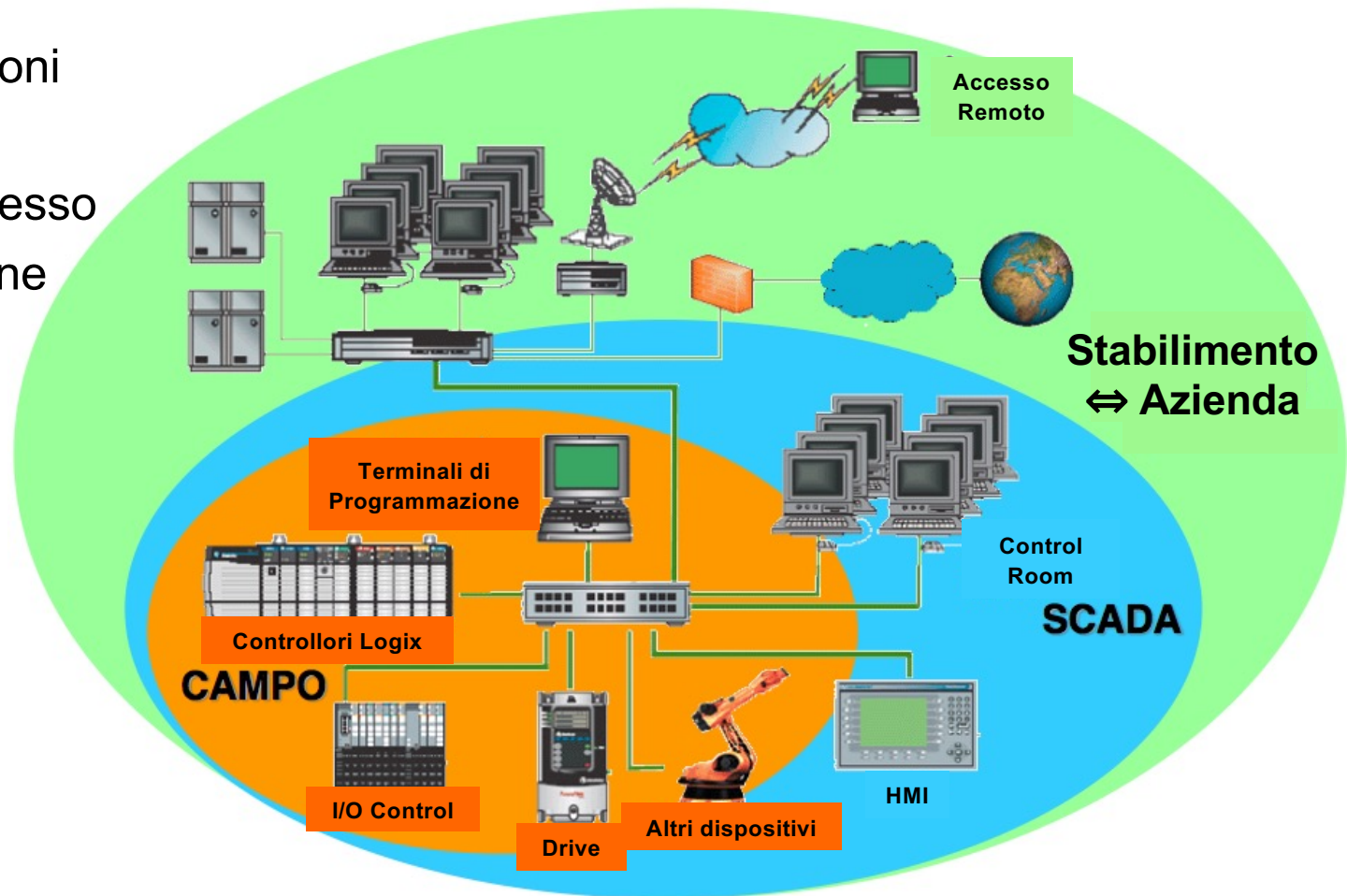
- ❑ il sistema di controllo a questo livello è costituito dal sistema di supervisione, controllo e acquisizione dati (Supervisory Control And Data Acquisition - **SCADA**)
- ❑ le piattaforme su cui sono implementate le applicazioni software sono tipicamente **workstation** con struttura client/server
- ❑ da questo livello in su i requisiti di elaborazione real-time sono fortemente ridotti, se non inesistenti





## □ Supervisory Control And Data Acquisition

- ➔ interfaccia operatore (HMI)
- ➔ gestione allarmi
- ➔ gestione ricette
- ➔ programmazione lavorazioni
- ➔ basi di dati del processo
- ➔ controllo statistico di processo
- ➔ supporto alla manutenzione
- ➔ sistema esperto
- ➔ previsioni e rapporti





vecchia sala di controllo di una centrale



centrale nucleare di Krsko (Slovenia)



sala di controllo di una centrale elettrica

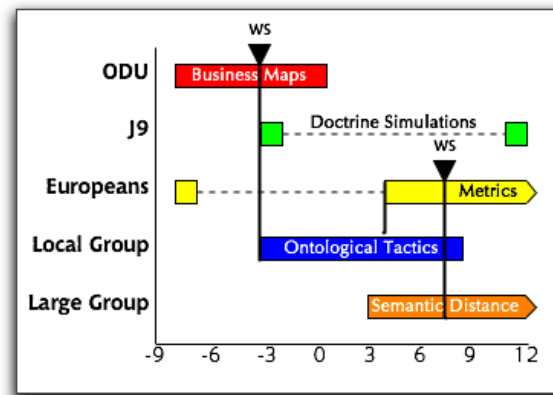


controllo del traffico ferroviario (Pisa)

# Modello CIM: livello di azienda

È ovviamente il livello più alto della gerarchia, dove avvengono i processi gestionali di supporto a tutti i livelli inferiori

- ❑ non si parla più di sistema di controllo ma di sistema decisionale
- ❑ l'infrastruttura software è implementata su workstation con struttura client/server connesse al **mainframe** aziendale
- ❑ non esistono vincoli di tipo temporale





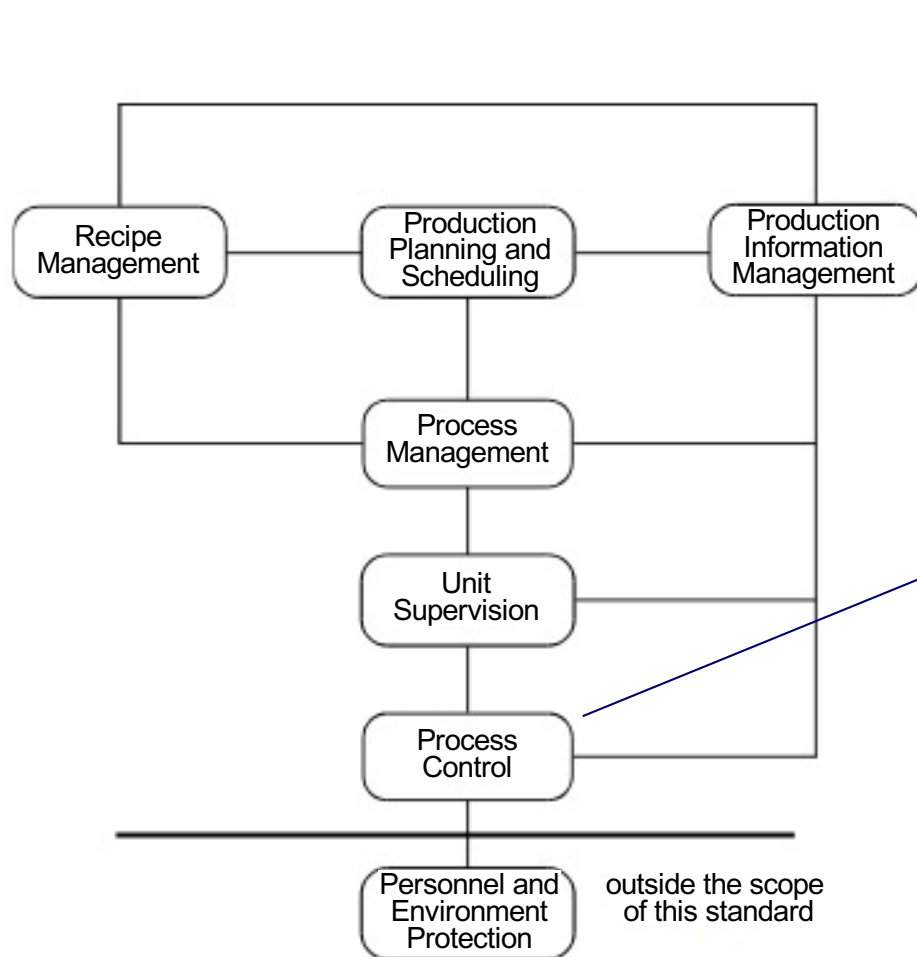
I sistemi di controllo che realizzano l'automazione dei vari livelli costituiscono una struttura gerarchica

- ❑ standard ANSI/ISA 88.01-1995\* per il controllo di processi di produzione manifatturiera a lotti (**batch processes**)
  - ➔ ANSI = American National Standards Institute
  - ➔ ISA = International Society of Automation
- ❑ tre livelli (dal basso verso l'alto)
  - ➔ controllo di campo
  - ➔ controllo di procedure
  - ➔ controllo di coordinamento

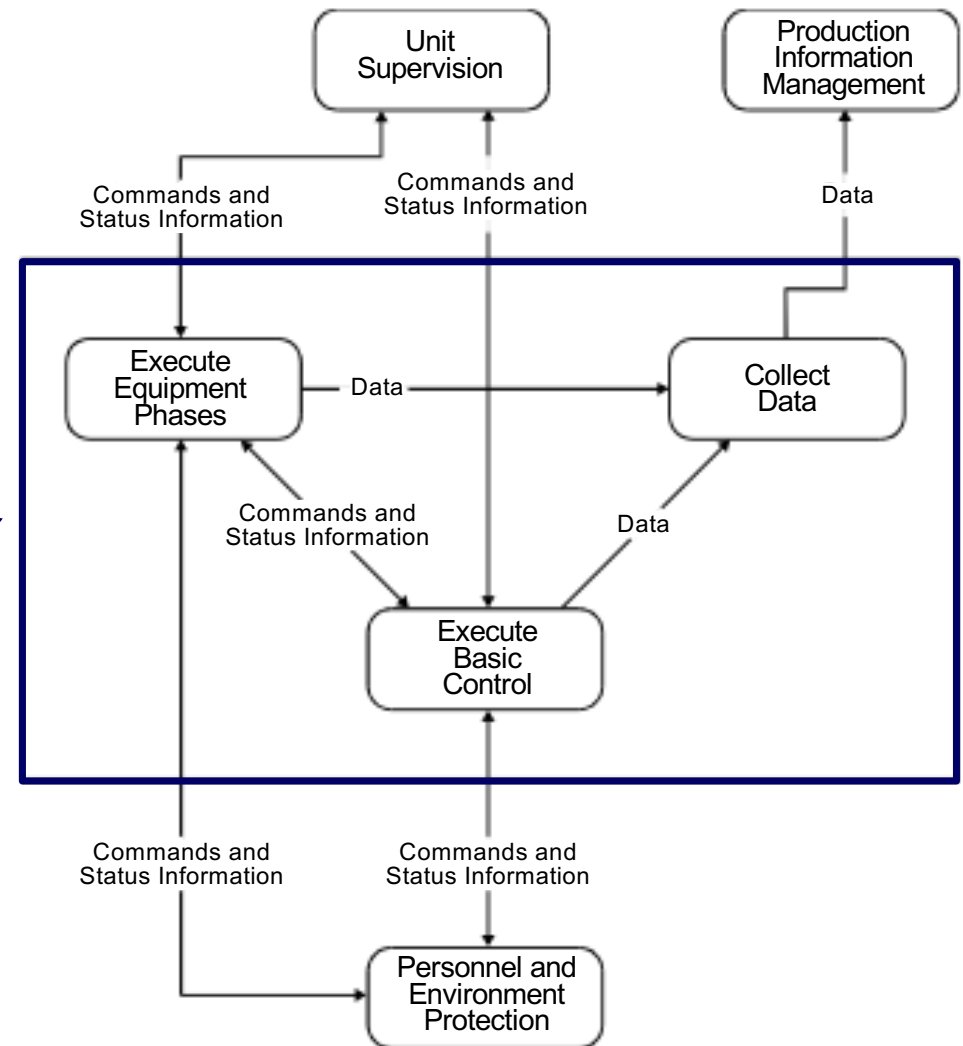
\* [versione disponibile](#) sul sito del corso; la versione più aggiornata è:  
ANSI/ISA 88-00-01-2010 Batch Control Part 1: Models and Terminology

# Gerarchia dei sistemi di controllo

## □ modelli per il controllo nello standard ANSI/ISA 88.01-1995



modello delle attività di controllo



modello del controllo del processo

## Standard ANSI/ISA 88.01-1995

- ❑ controllo di campo: posto al livello di campo, comprende i sistemi di controllo dei singoli componenti di campo
- ❑ agisce esclusivamente su variabili continue
- ❑ implementato su dispositivi dedicati: controllori embedded o schede dedicate (ad esempio, controllo asse di motori elettrici)
  - ➔ alta frequenza
  - ➔ informazioni semplici
  - ➔ vincoli real-time

## Standard ANSI/ISA 88.01-1995

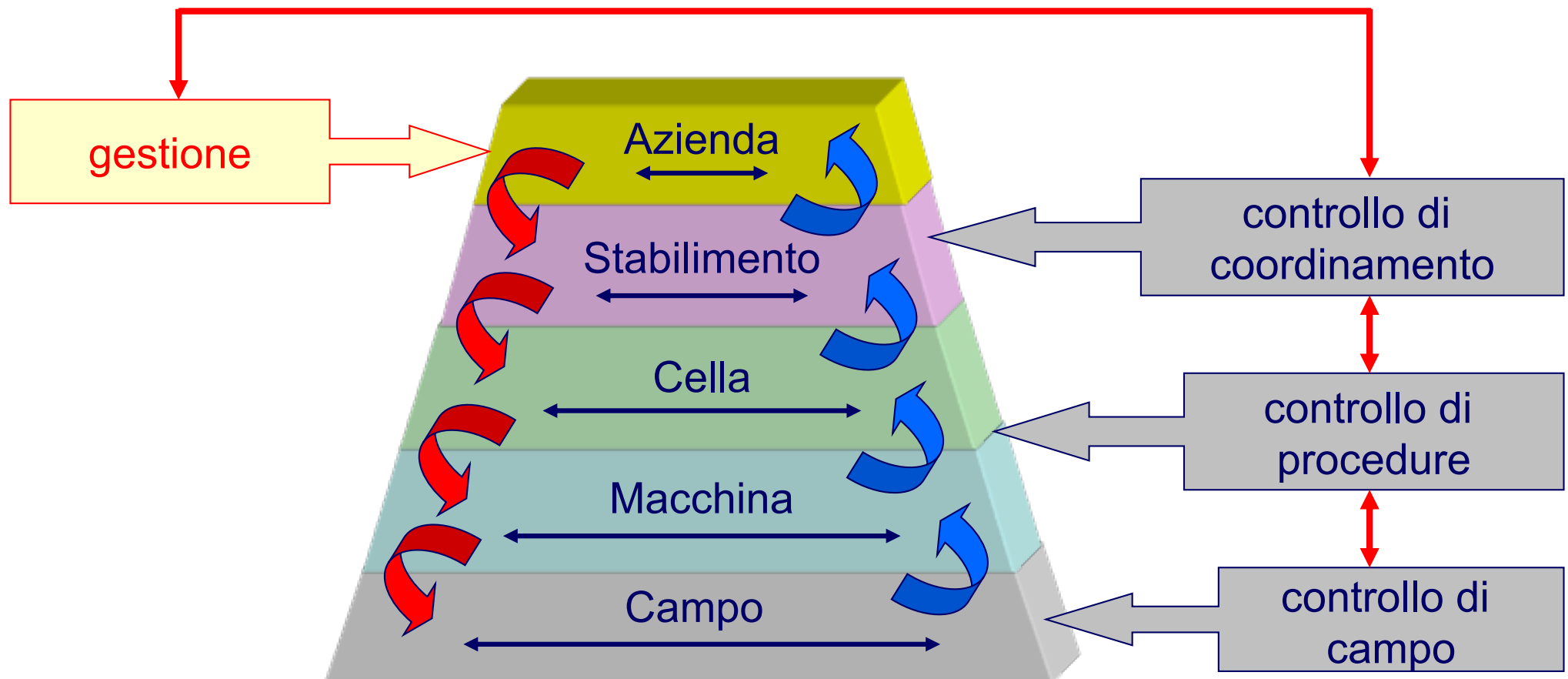
- ❑ controllo di procedure: si colloca ai livelli di macchina e di cella della piramide CIM
- ❑ riguarda il controllo di gruppi strutturati di componenti di campo
  - ➔ **diretto**: si trova soprattutto a livello di macchina e riguarda il controllo di gruppi di variabili continue o funzioni più avanzate (ad esempio: tuning adattativo dei parametri per i sistemi di controllo di base)
  - ➔ **logico**: riguarda il coordinamento dei sistemi di campo sulla base della lista di operazioni sequenziali che compongono il programma di lavorazione
  - ➔ svolge anche funzioni più avanzate quali il monitoraggio delle prestazioni o l'**auto-diagnostica** e gestione automatica dei malfunzionamenti
  - ➔ solitamente implementato su schede dedicate o PC industriali e, per quanto riguarda il controllo logico, su controllori programmabili (PLC)
  - ➔ algoritmi più complessi di quelli del controllo di campo
  - ➔ vincoli real-time

## Standard ANSI/ISA 88.01-1995

- ❑ controllo di coordinamento: si pone a livello di stabilimento nella piramide CIM
  - ❑ riguarda principalmente il coordinamento e la gestione delle varie celle di produzione
    - ➔ manda in esecuzione, dirige o ferma i vari sistemi di controllo di procedure sulla base di algoritmi complessi, in generale più orientati al lungo periodo
    - ➔ metodologie più vicine alla **ricerca operativa**, all'intelligenza artificiale o ai sistemi esperti che al controllo automatico in senso stretto
    - ➔ ad esempio: decidere il volume della produzione formulando un problema di ottimizzazione e risolvendolo in linea mediante opportuni algoritmi
    - ➔ dati strutturati
    - ➔ bassa frequenza di intervento
    - ➔ nessun vincolo temporale (o molto laschi)
- } se la produzione non è guidata da vincoli stringenti di soddisfacimento in tempo reale di richieste provenienti da clienti/mercato

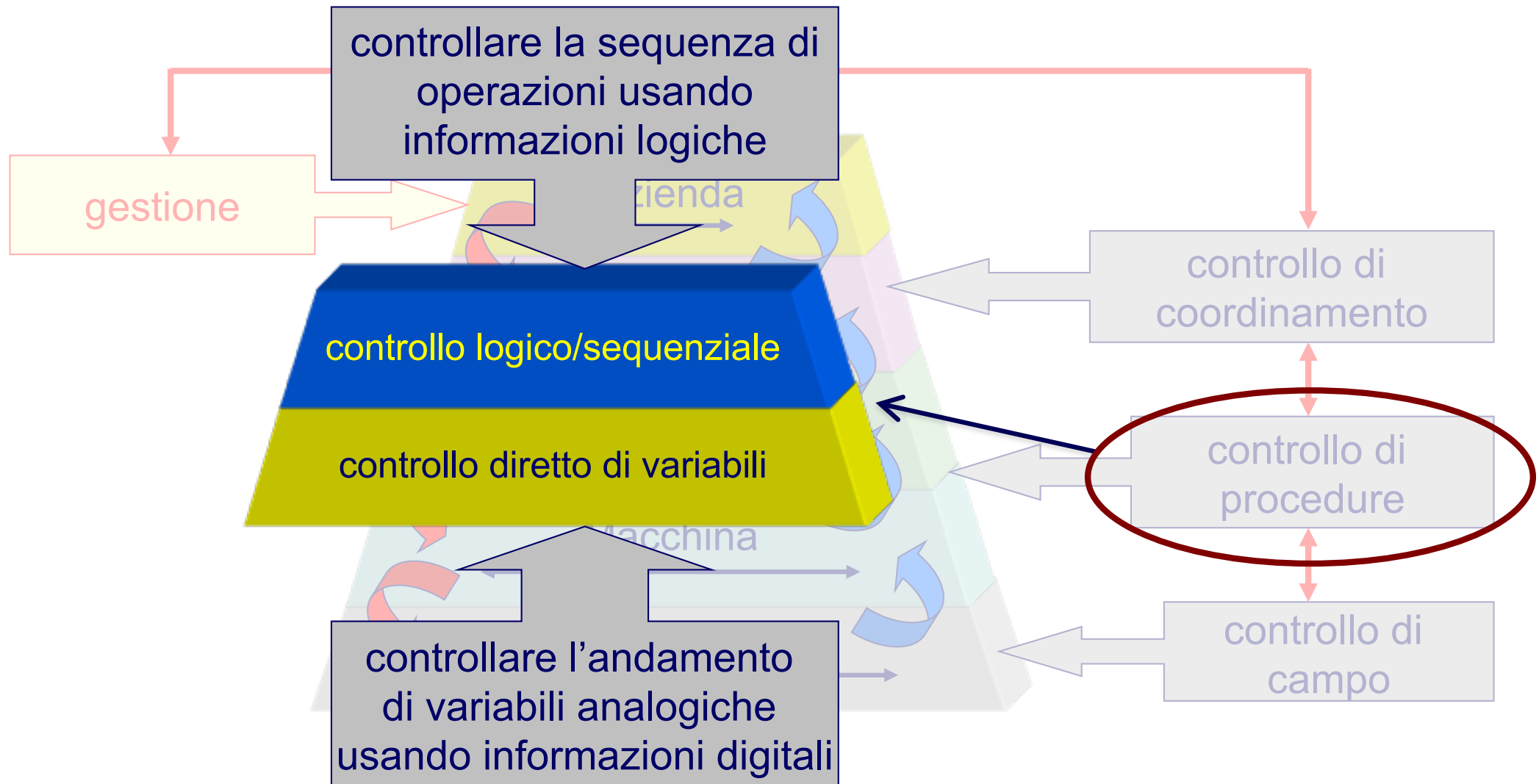
# Gerarchia dei sistemi di controllo

Livelli di controllo ANSI/ISA 88.01-1995 e livelli CIM



# Gerarchia dei sistemi di controllo

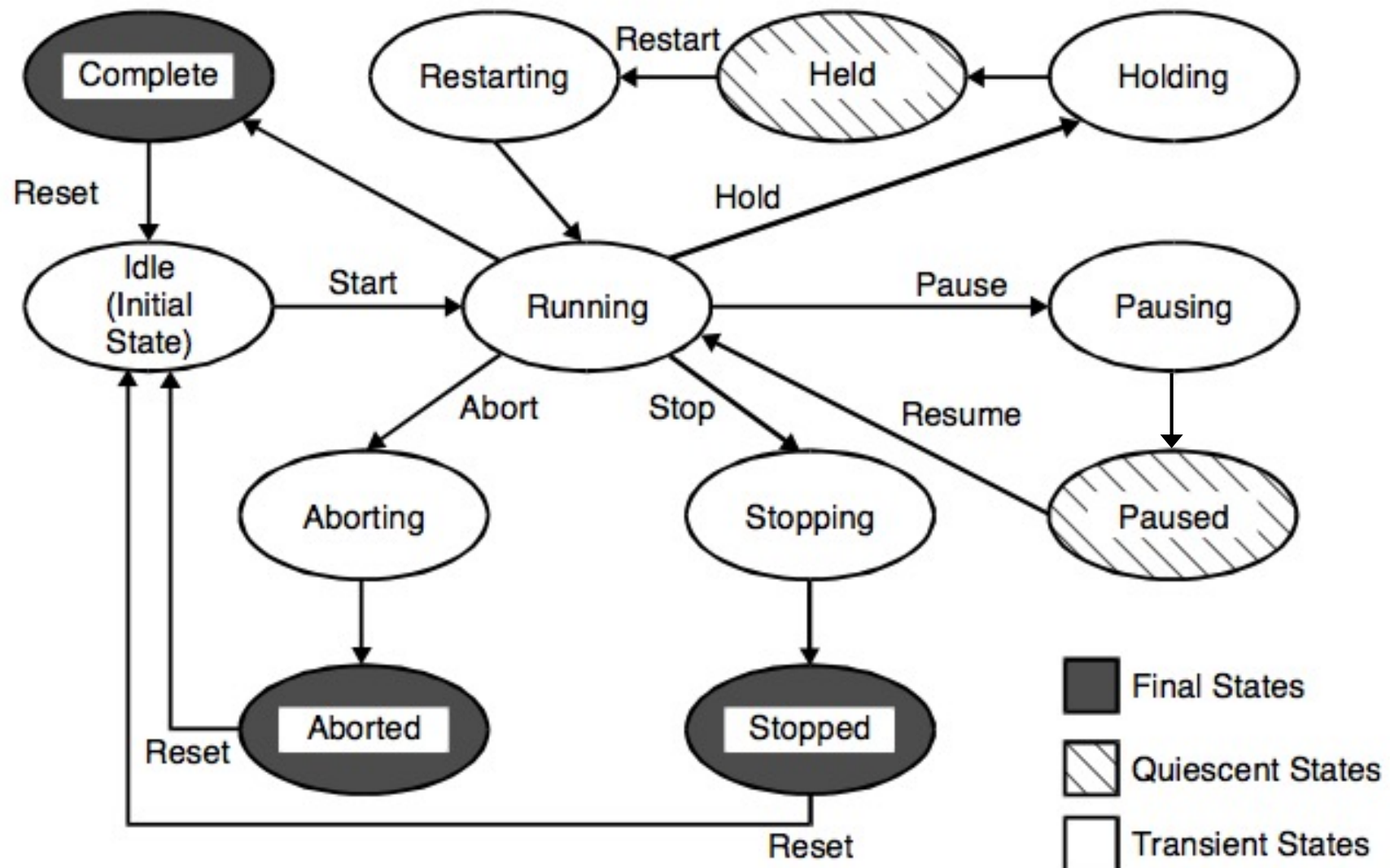
## Livelli di controllo ANSI/ISA 88.01-1995 e livelli CIM





# Stati di un processo

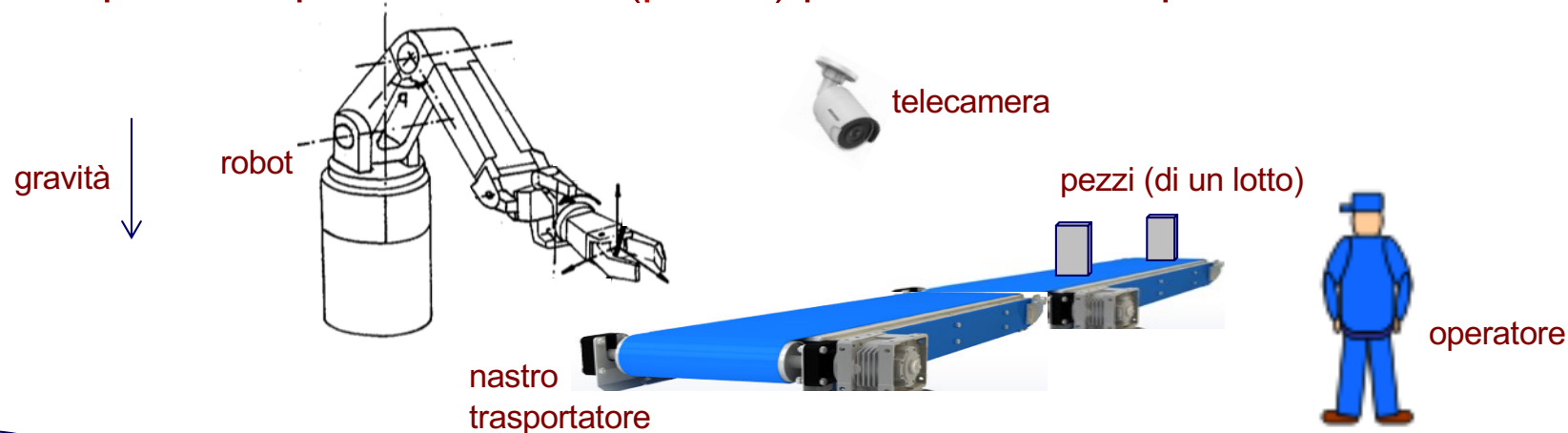
- diagramma logico delle transizioni tra stati di un processo nello standard ANSI/ISA 88.01-1995



# Esempio di possibili stati finali/quiescenti

## □ Processo

- un robot deve lavorare  $L$  lotti, ciascuno con un numero  $N_i$  di pezzi ( $i = 1, \dots, L$ )
- i pezzi arrivano con cadenza imprecisata su un nastro trasportatore, riconosciuti da una telecamera che attiva (start) il robot al primo pezzo del nuovo lotto
- un nuovo lotto si presenta sempre dopo un lungo intervallo (indefinito)
- un operatore può intervenire (pause) per verificare la qualità della lavorazione



**Paused** = l'operatore attiva una pausa e ispeziona il pezzo (occasionalmente): nastro e robot si fermano

**Held** = se l'attesa del prossimo pezzo del lotto è lunga, il robot aziona i freni (i motori sono fermi)

**Complete** = il robot ha completato con successo la lavorazione di tutti i pezzi di tutti i lotti

**Stopped** = a lotto completato, il robot si ferma; torna poi (con **reset** automatico) nello stato idle

**Aborted** = arriva un pezzo in più (ossia il pezzo  $N_i + 1$ ) nel lotto  $i$ : c'è un problema a monte ...

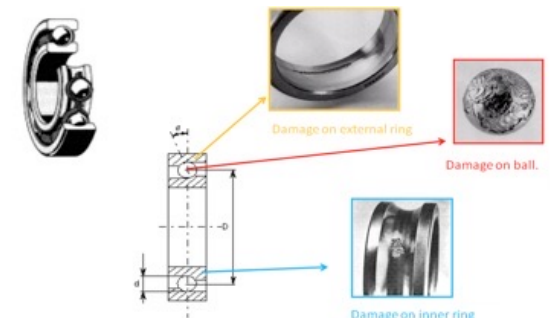
Integrare funzionalità di auto-diagnosi permette una manutenzione “predittiva”

- ❑ predire l'occorrenza di un guasto di un sensore, un attuatore, o un componente meccanico soggetto a usura (**prima** che questo provochi un fermo macchina)
- ❑ occorre individuare uno o più parametri/segnali dal dispositivo che vengono misurati e valutati utilizzando appropriati modelli matematici (anche allo scopo di individuare il tempo residuo prima del guasto)
  - ➔ *individuazione della casistica di guasto*
    - FMECA = Failure Mode, Effects and Critical Analysis, MTBF = Mean Time Between Failure
  - ➔ *determinazione di una “firma” (**signature**) del guasto*
    - vibrazioni misurate con un **accelerometro**, correnti impresse dagli azionamenti elettrici, pressione dell'olio nei circuiti oleodinamici
  - ➔ *sviluppo di algoritmi per l'analisi dei segnali*
    - basati su trasformata di Fourier, wavelets, ...
  - ➔ *metodi per la gestione dell'allarme di guasto*

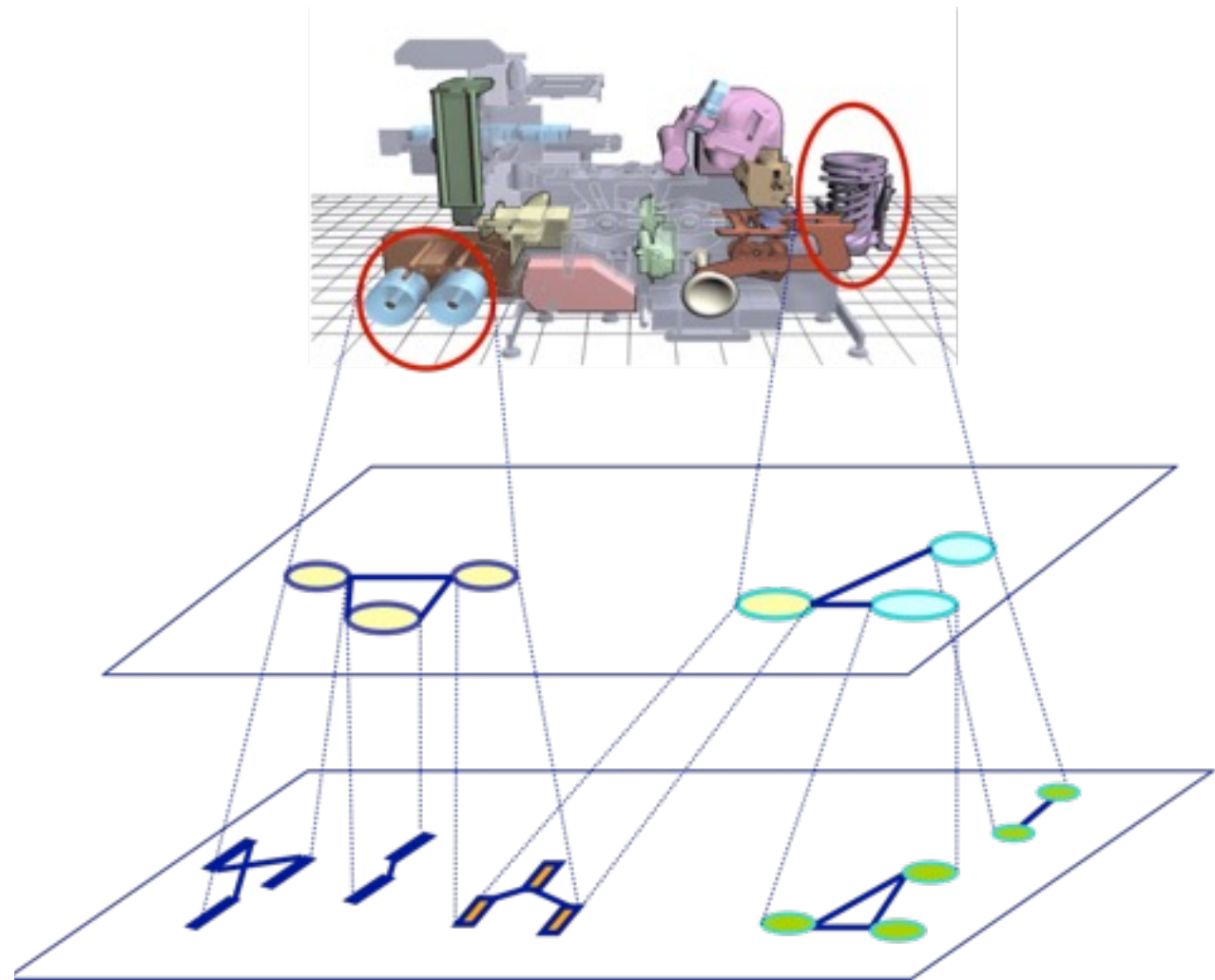


accelerometro

rotture di un cuscinetto a sfere



Anche per l'autodiagnosi è conveniente procedere a livello di macchina o di cella, sfruttando la decomposizione gerarchica e le interazioni funzionali esistenti



In un processo di diagnosi di uno o più guasti ("fault"  $f$ ) che possono avvenire durante il funzionamento di un sistema dinamico, si formulano diversi problemi

## ❑ Rilevamento di un guasto (Fault Detection)

- ➔ riconoscere che un malfunzionamento del sistema (controllato) è effettivamente dovuto ad un guasto (o comportamento anomalo) che è presente in qualche componente fisico o funzionale del sistema

## ❑ Isolamento dei guasti (Fault Isolation)

- ➔ distinguere quale particolare guasto  $f$  sia avvenuto tra quelli di una (grande) classe di possibili guasti considerati, discriminando il guasto da tutti gli altri e anche dagli effetti dovuti a eventuali disturbi che condizionano l'evoluzione del sistema

## ❑ Identificazione del guasto (Fault Identification)

- ➔ determinare il profilo temporale del guasto  $f$  che è stato isolato

## ❑ Riconfigurazione a seguito di guasto (Fault Accommodation)

- ➔ modificare la legge/lo schema di controllo in modo da compensare (il più possibile) gli effetti dovuti al guasto riconosciuto e isolato (e magari anche identificato)
- ➔ può coinvolgere solo modifiche di componenti SW o anche di componenti HW



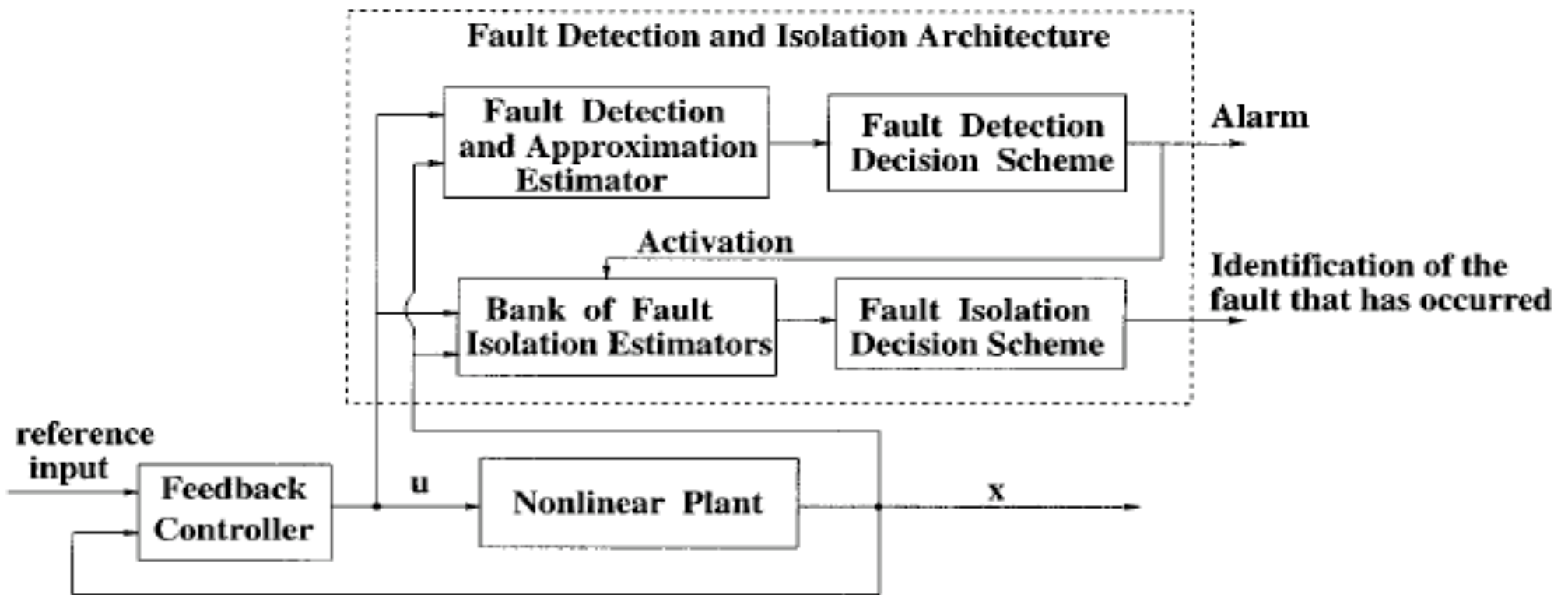
Nei problemi integrati di rilevamento e isolamento simultaneo dei guasti (FDI)

- si definisce un sistema dinamico ausiliario (**generatore di residuo**) il cui **segnale di uscita** dipenderà solo dalla presenza o meno del particolare guasto  $f$  da riconoscere e isolare (e **non** da qualsiasi altro guasto o disturbo agente sul sistema) e converge asintoticamente a zero quando  $f \equiv 0$  (**stabilità**)
- nel caso di più guasti potenziali, ciascuna componente  $r_i$  di un **vettore  $r$  di residui** dipenderà da un guasto associato  $f_i$  e soltanto da questo (tipicamente riproducendo almeno in modo approssimato la sua evoluzione temporale)
- gli schemi **FDI** proposti in letteratura si distinguono in
  - ➔ **model-based**: usano un modello dinamico (**privo** di guasti e disturbi) per sistema e misure
  - ➔ **signal-based**: usano solo i segnali (primari e/o ausiliari) provenienti da misure sul sistema e una loro elaborazione
  - ➔ **ibridi**: combinano le due precedenti tecniche (ad esempio, con reti neurali/fuzzy addestrate)
- **Controllo tollerante/robusto ai guasti (Fault Tolerant Control)**
  - ➔ **passivo**: schema di controllo prefissato, intrinsecamente robusto rispetto a incertezze e/o guasti (che abbiano solo effetti moderati/limitati sul sistema)
  - ➔ **attivo**: schema di controllo che si riconfigura a seguito di FDI (con prestazioni del sistema soggetto a guasto che debbano mantenersi invariate o modificate entro limiti prefissati)

# Schema software di un sistema FDI

Un possibile schema consiste in un **banco di N+1** osservatori/stimatori simultanei

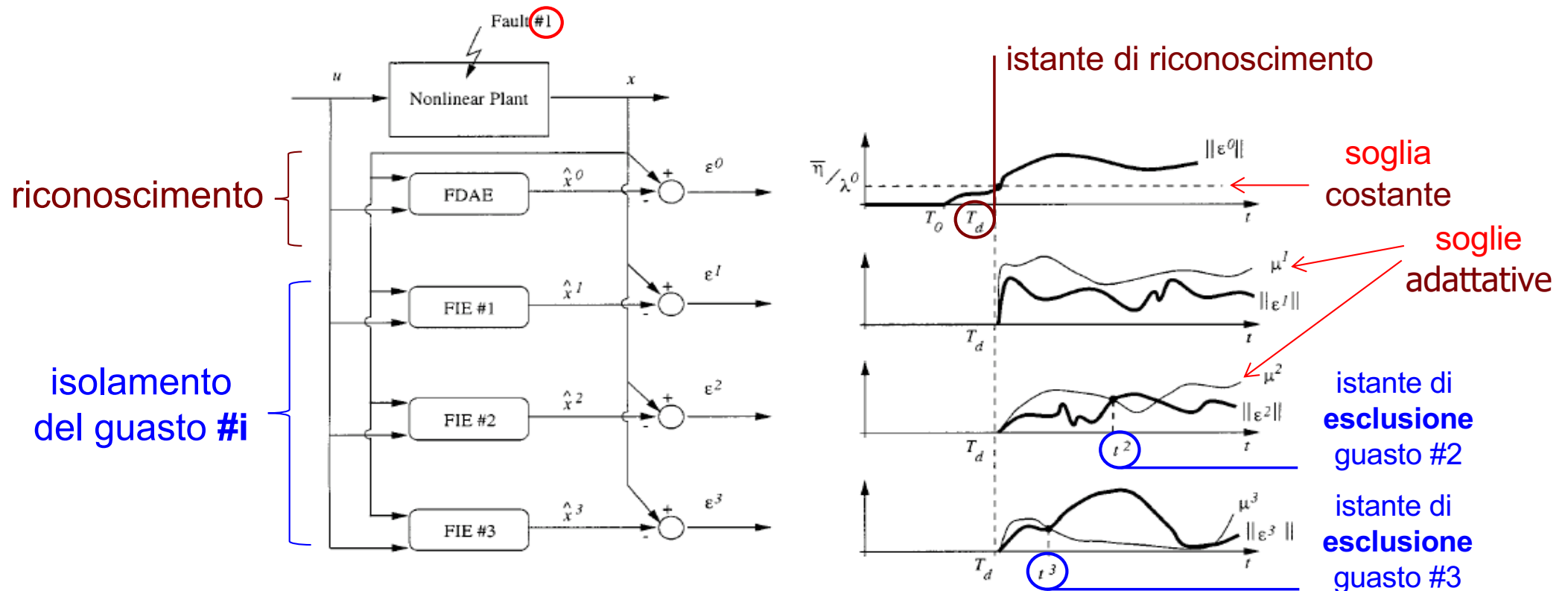
- ❑ 1 per il riconoscimento (**detection**) della condizione di guasto
- ❑ N per l'isolamento (**isolation**) del particolare guasto (spesso **modellato** nella sua tipologia)
- ❑ tipologia di guasti
  - ➔ istantaneo (improvviso), incipiente (a lenta apparizione), intermittente, concorrente (con altri guasti)





# Comportamento di un sistema FDI

- Ruolo delle soglie (**thresholds**) nel problema FDI
  - ➔ dipendono dalle statistiche dei rumori in gioco e da altri aspetti non modellati
  - ➔ possono essere rese adattative
  - ➔ compromesso tra introduzione di **ritardi** (**delay** rispetto all'istante  $T_0$  di insorgenza del guasto) e numero di **falsi allarmi**



# Esempio di generazione di un residuo

## □ Problema FD scalare su un semplice sistema dinamico lineare

- processo con stato misurabile

$$\dot{x} = ax + bu + ef$$

$$y = cx$$

dove  $f$  è il generico fault

- residuo (implementazione come osservatore di un 'disturbo' o di un 'ingresso non noto')

$$r(t) = \frac{k}{e} \left[ \frac{y(t)}{c} - \int_0^t [ax(\tau) + bu(\tau) + er(\tau)] d\tau \right] \quad \text{con } k > 0, r(0) = 0$$

- dinamica del residuo (solo per analisi)

$$\dot{r} = \frac{k}{e} \left[ \frac{\dot{y}}{c} - [ax + bu + er] \right] = \frac{k}{e} \left[ \frac{c[ax + bu + ef]}{c} - [ax + bu + er] \right] = k[f - r]$$

ossia un **filtro del primo ordine** con guadagno **unitario** applicato al segnale di fault  $f$

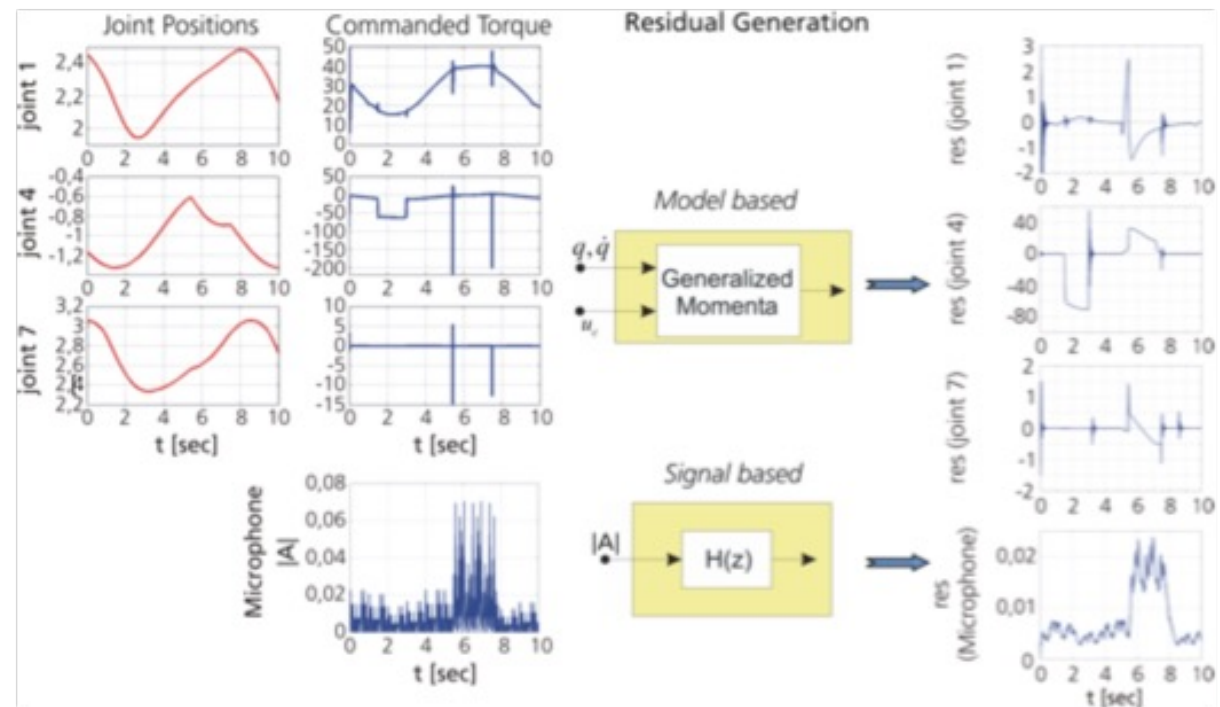
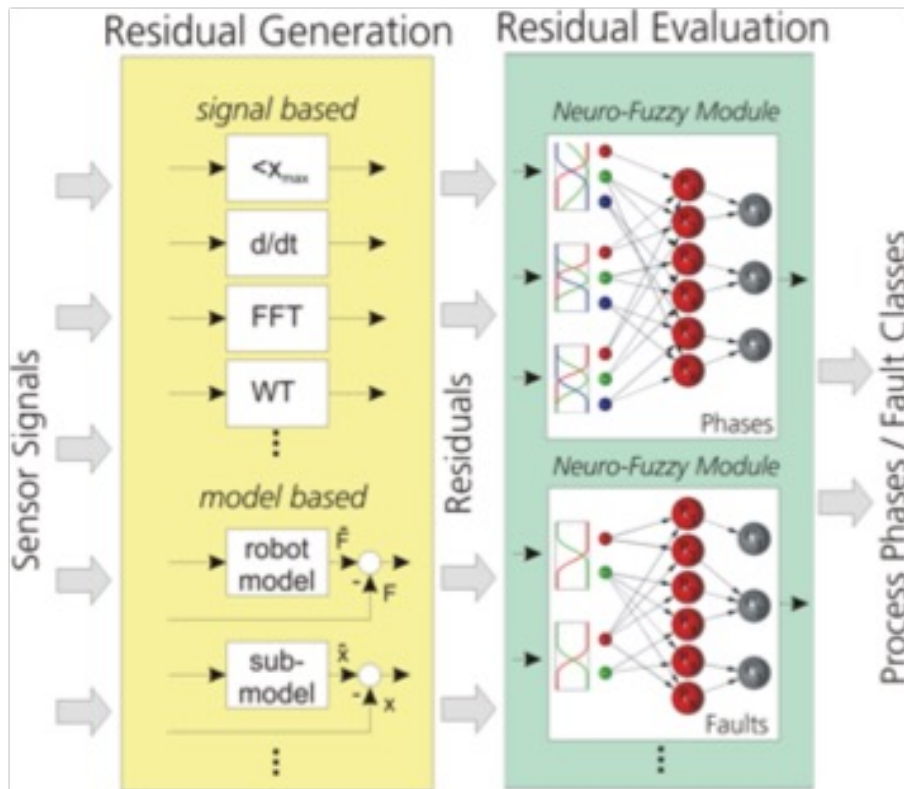
$$\frac{r(s)}{f(s)} = \frac{k}{s+k} = \frac{1}{1 + \left(\frac{1}{k}\right)s}$$

funzione di trasferimento,  
nel dominio di Laplace

$$r(t) = f_0(1 - e^{-kt})$$

nel dominio del tempo,  
in caso di un guasto costante  $f_0$

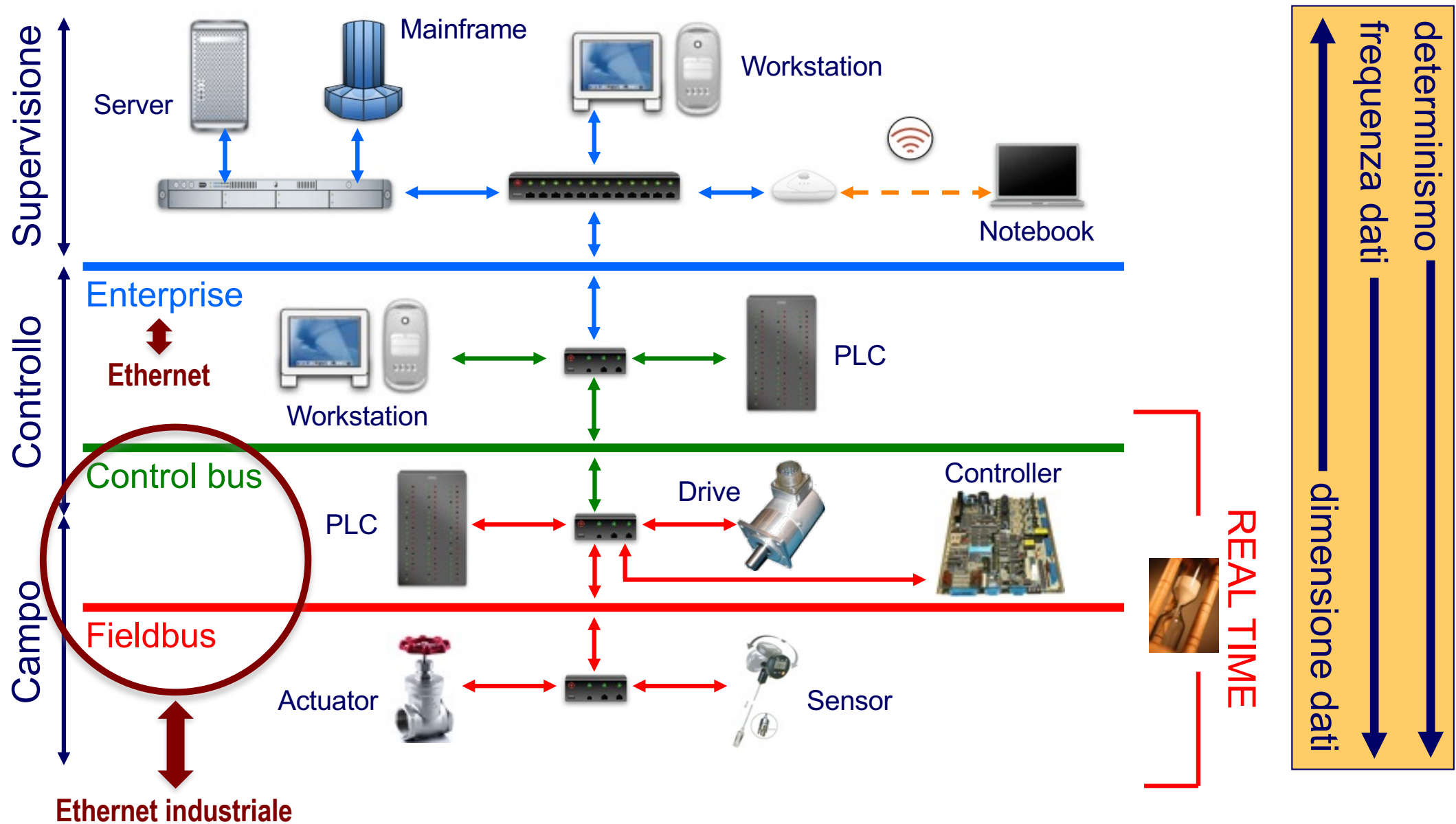
- Le caratteristiche di riconoscimento e isolamento dei guasti possono essere migliorate combinando componenti FDI di tipo **model-based** e **signal-based**
  - il meglio dei due mondi...



applicazione: utilizzato per riconoscere collisioni robot-utente **senza** impiegare sensori esterni



# Il sistema di comunicazione



# Architetture hardware per il controllo

---

I vari livelli del sistema gerarchico distribuito di automazione industriale eseguono differenti compiti di controllo

- ❑ sistemi di controllo sono implementati mediante dispositivi elettronici e/o informatici
- ❑ differenti architetture hardware dipendenti dal livello gerarchico e dalle funzionalità di controllo da svolgere
  - ➔ controllori **embedded** per il controllo di campo
  - ➔ controllori con **architettura a bus** per il controllo di procedure
  - ➔ sistemi di controllo su Personal Computer (**PC-based** control)
- ❑ categorie non necessariamente chiuse ...

I sistemi di controllo embedded contengono al loro interno tutto il necessario per svolgere i compiti di controllo richiesti

- ❑ progettati appositamente per una specifica applicazione con vincoli stringenti di esecuzione in tempo reale
- ❑ piattaforma hardware ad hoc (custom)
- ❑ la progettazione di un sistema di controllo embedded parte dalla conoscenza dei compiti che dovrà svolgere

Realizzazione del sistema di controllo tramite

- ❑ singolo chip integrato (microcontrollori)
- ❑ singola scheda (con DSP o FPGA)

In generale, un controllore embedded deve prevedere al suo interno alcuni componenti fondamentali HW/SW

## □ hardware

### ➔ unità di elaborazione

- eseguire gli algoritmi di controllo definiti dal progettista e tutti i programmi necessari per la gestione dell'intero sistema (sistema operativo)

### ➔ memoria

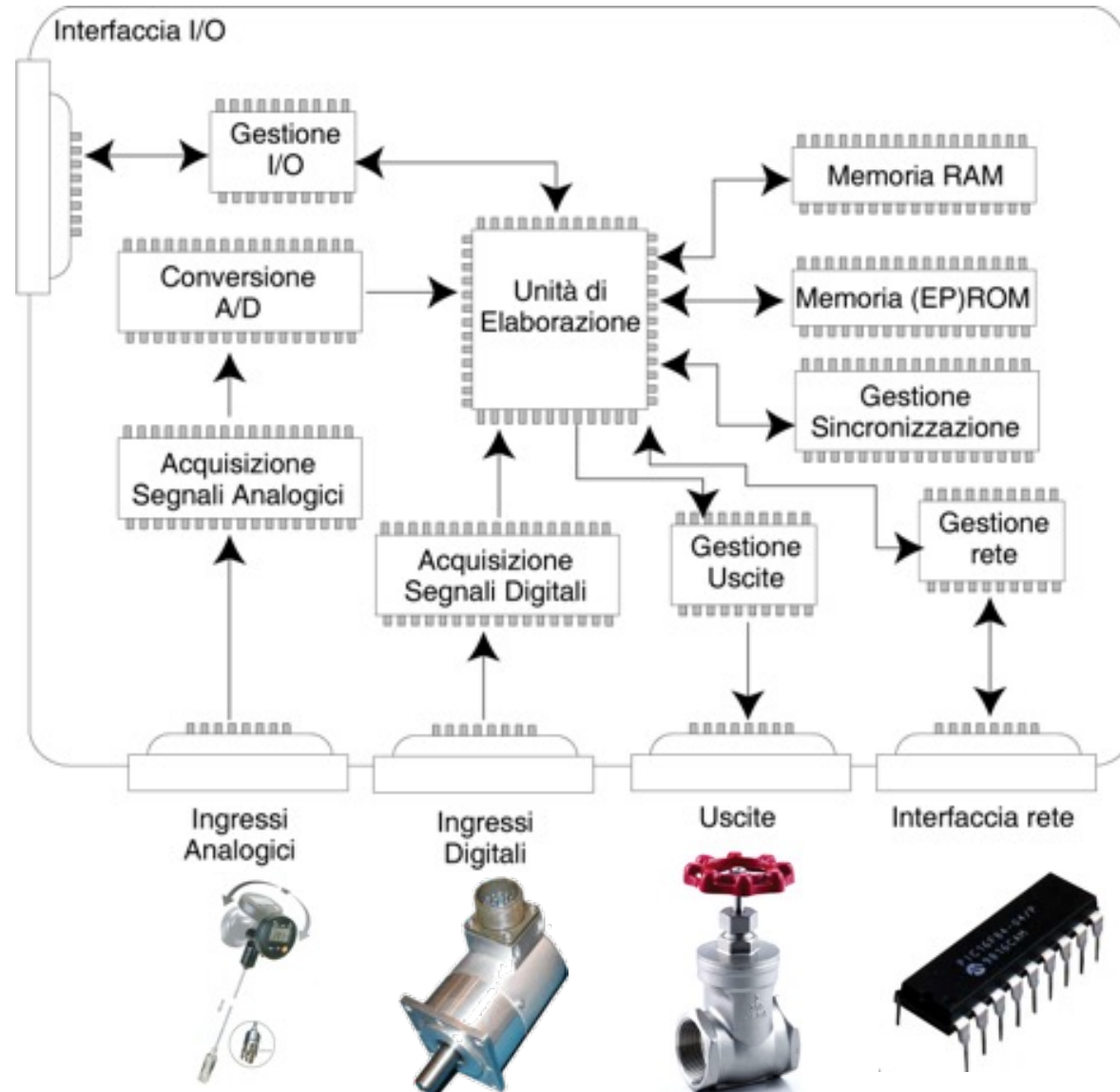
- per la memorizzazione di dati e programmi

### ➔ circuiti per input/output

- acquisizione e generazione di segnali analogici e digitali
  - ◆ campionatori e convertitori (A/D, D/A)
- gestione delle comunicazioni con altri dispositivi dello stesso tipo

# Sistemi di controllo embedded

## Layout generale di un sistema di controllo embedded





## □ software

- ➔ Sistema Operativo (S.O.) progettato ad hoc
  - la conoscenza a priori delle funzionalità da svolgere permette la progettazione di S.O. “semplici”
- ➔ orientato all'automazione
- ➔ gestione a basso livello delle risorse e delle comunicazioni
- ➔ vincoli real-time

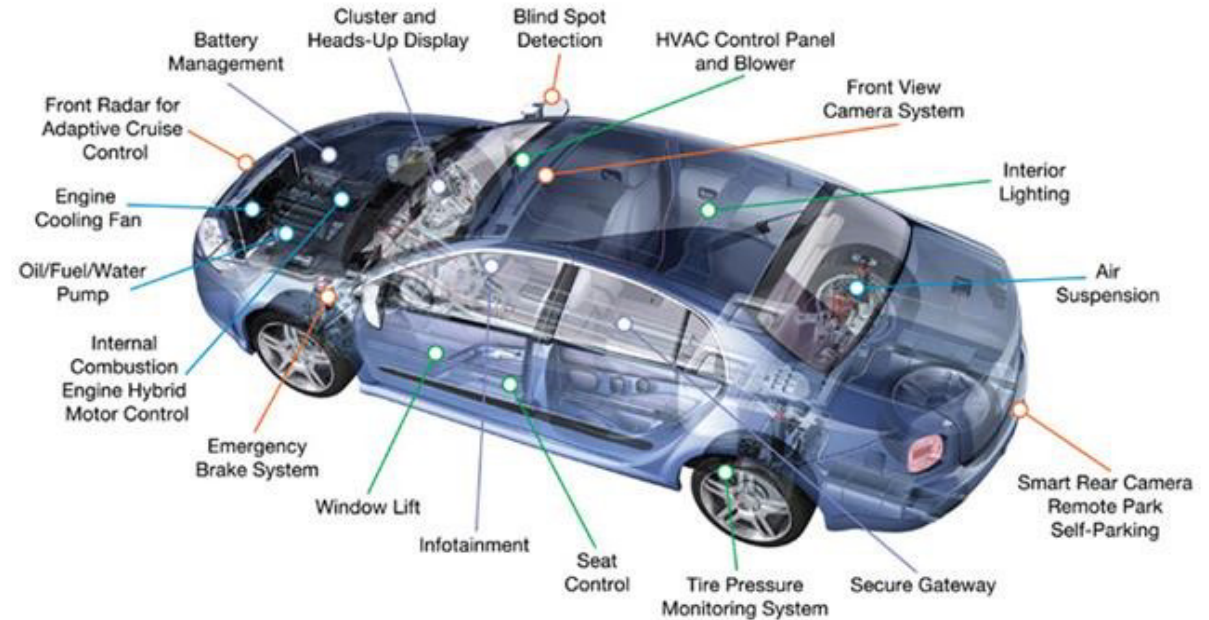
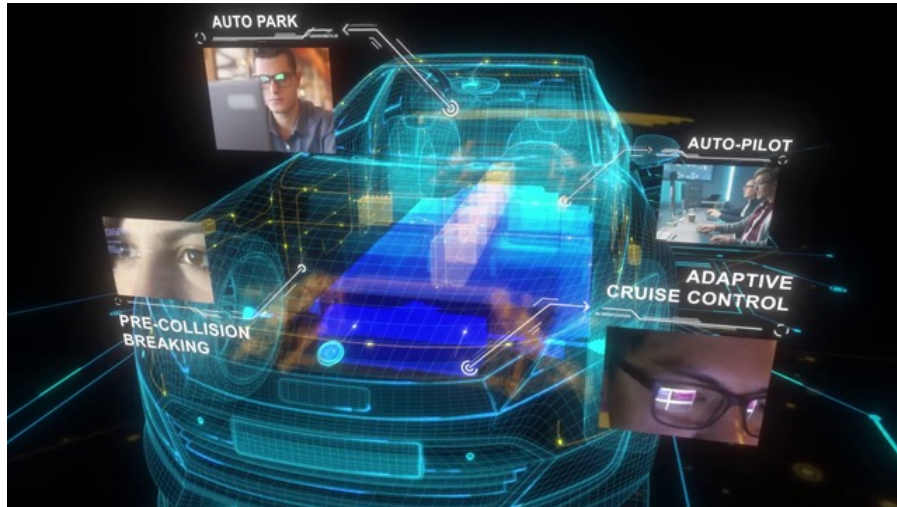
# Sistemi di controllo embedded: Microcontrollori

---

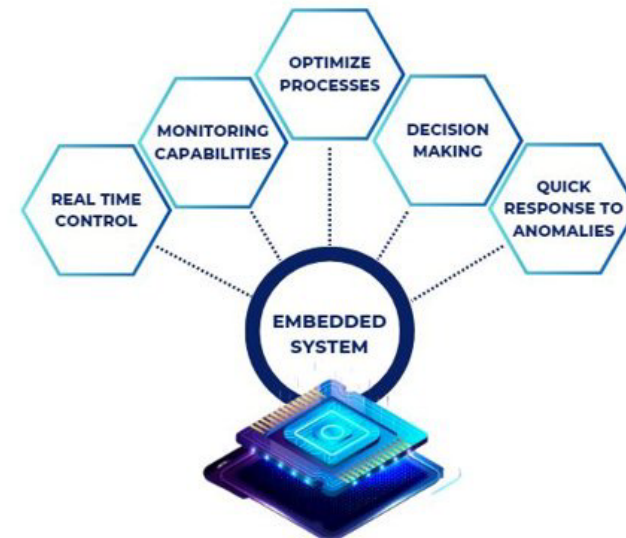
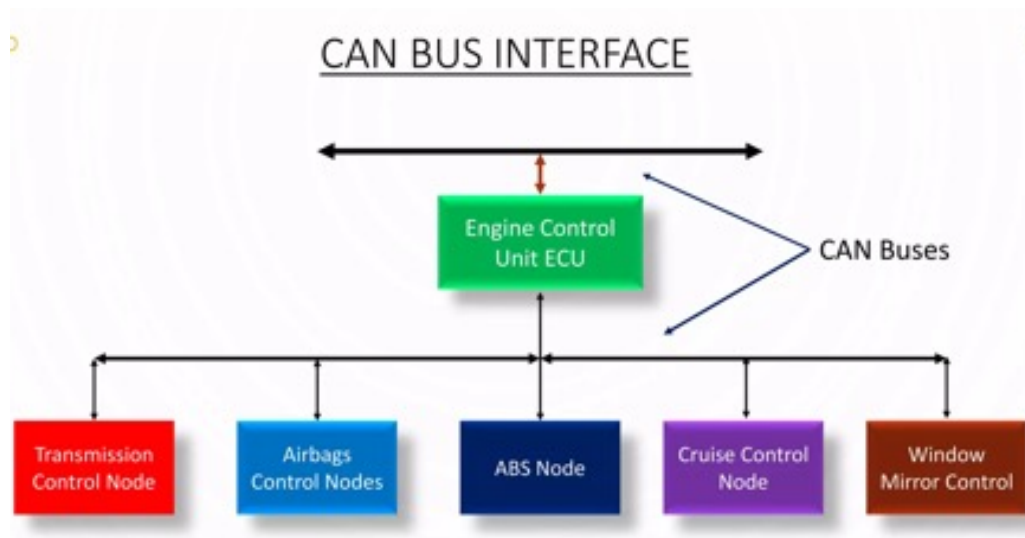
I microcontrollori sono nati dalla sempre più avanzata tecnologia di miniaturizzazione dei componenti elettronici

- microprocessori (singolo chip) con funzioni ausiliarie integrate
  - ➔ con sistema di sviluppo per la programmazione (in assembler)
- utilizzati per una grandissima varietà di applicazioni
  - ➔ telefoni cellulari
  - ➔ elettrodomestici
    - lavatrici, forni a microonde, ...
  - ➔ apparati informatici, consumer electronics
    - lettori DVD, stampanti, ...
  - ➔ centraline di controllo per vetture automobilistiche (automotive)
  - ➔ ...

# Sistemi di controllo embedded in automotive



Advanced Driver Assist   Powertrain & Chassis   Body & Comfort   Driver Information & Connectivity



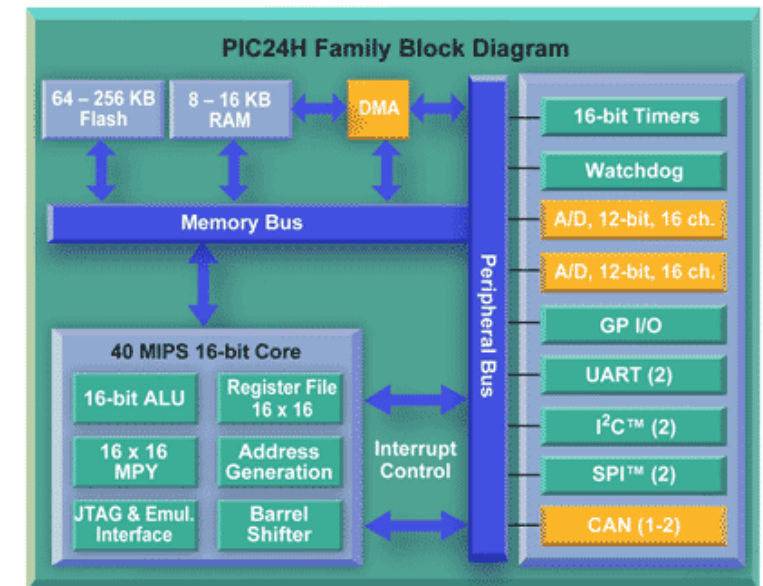
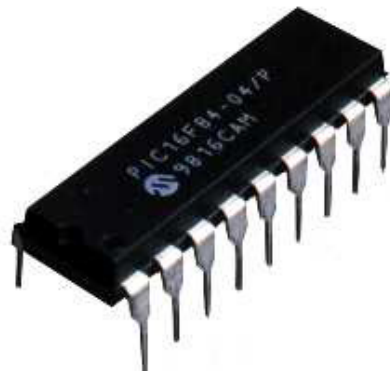
# Sistemi di controllo embedded: Microcontrollori

## ❑ caratteristiche e impieghi

- ➔ applicazioni tipicamente semplici
- ➔ ingombri ridotti
- ➔ basso consumo
- ➔ limitato numero di segnali da gestire
- ➔ limitata o assente interfaccia con l'utente
- ➔ scarsa integrazione con altri dispositivi dello stesso tipo
- ➔ difficile espansione

**PIC** = Peripheral Interface Controller (poi  
**Programmable Interface Controller**)

**DMA** = Direct Memory Access  
(accesso indipendente dalla CPU)





# Sistemi di controllo embedded su singola scheda

- ❑ componenti elettronici standard integrati su una stessa scheda
- ❑ elaboratori standard orientati alle applicazioni

- ➔ **Digital Signal Processor (DSP)**

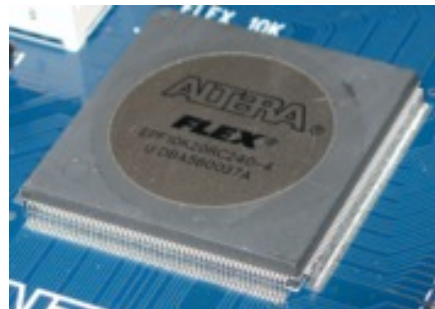
- processori per il trattamento dei segnali
- esecuzione di funzioni su numeri interi o reali

- ➔ **Field Programmable Gate Array (FPGA)**

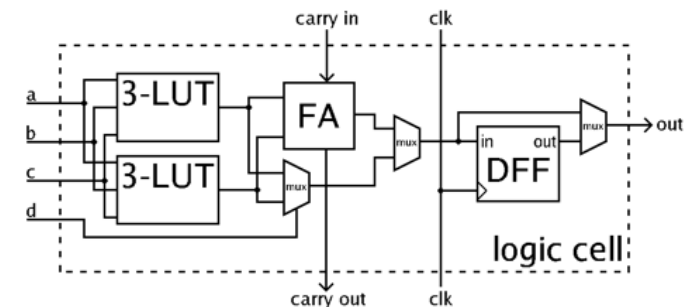
- circuiti integrati riconfigurabili dall'utente per realizzare funzioni logiche complesse tramite blocchi logici e elementi di memoria



FPGA  
Xilinx  
Spartan



FPGA Altera  
con > 20K  
porte logiche



**cella logica** elementare in un FPGA:

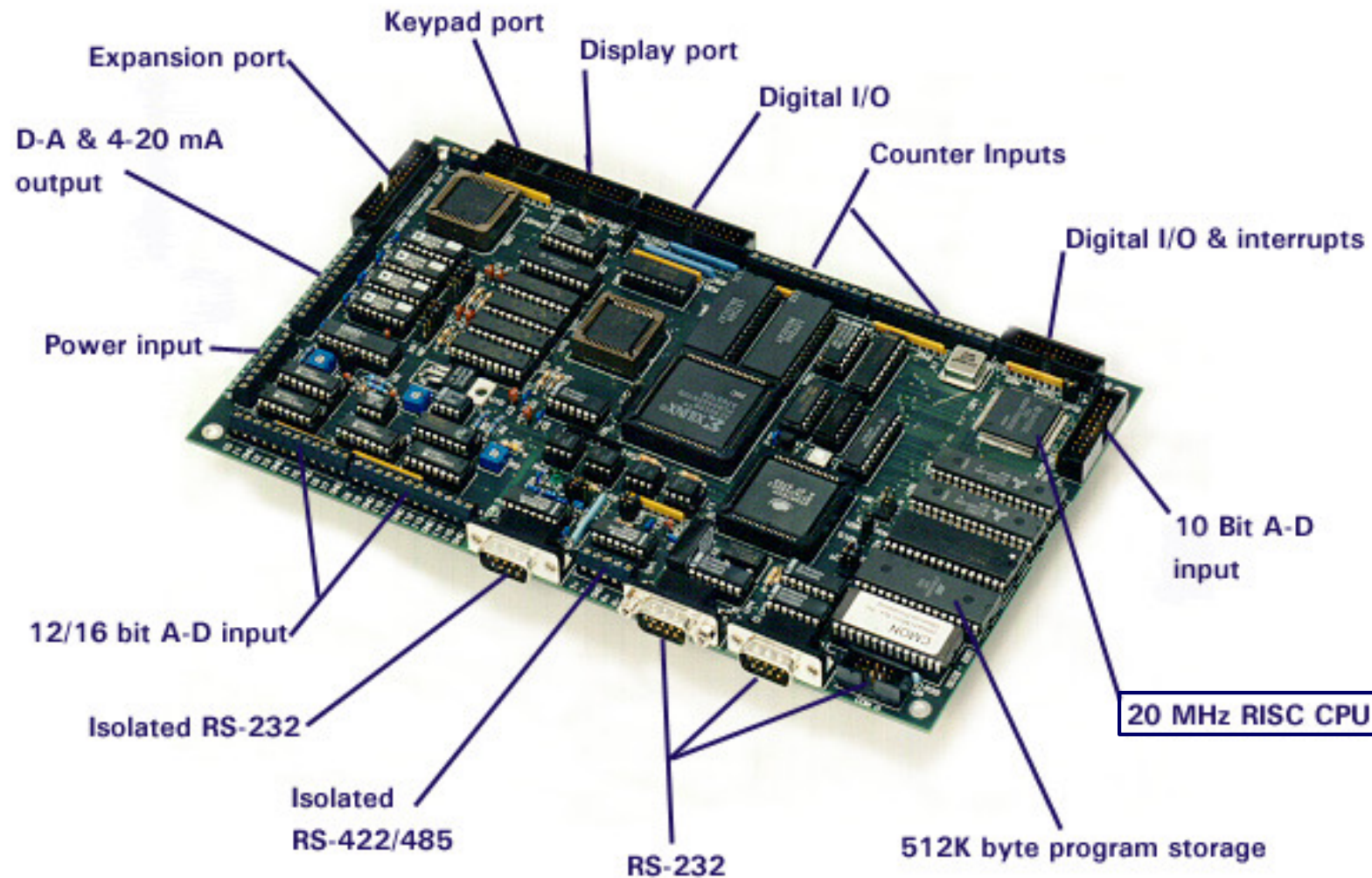
LUT = Look-Up Table, FA = Full Adder,  
DFF = D-type Flip-Flop, MUX = Multiplexer

- ❑ capacità di elaborazione più elevata

- ❑ numero di segnali da gestire più elevato

# Sistemi di controllo embedded su singola scheda

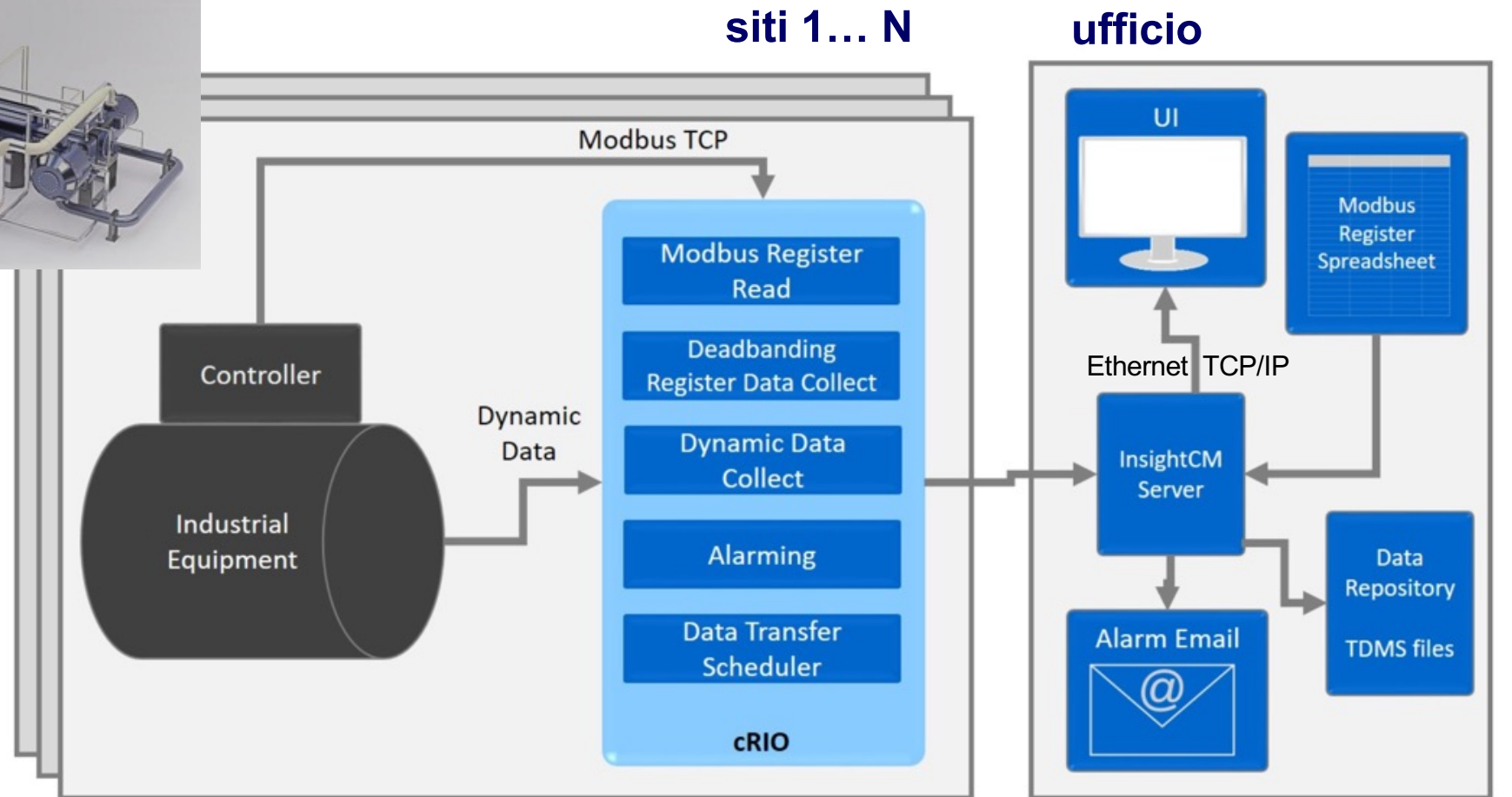
RISC = Reduced Instruction Set Computing



# Sistemi embedded nel controllo di processo



**cRIO** (CompactRIO) della NI è un controllore embedded industriale composto da un microcontrollore real-time, da moduli I/O riconfigurabili, da un modulo FPGA e con uno chassis per l'espansione Ethernet



National Instruments **cRIO**

Microsoft Windows Server

## □ pro

- ➔ combinazione hardware/software specificamente studiata
- ➔ ottimizzazione spaziale e di complessità
- ➔ minori ingombri, basso consumo
- ➔ minori costi

## □ contro

- ➔ interfaccia uomo-macchina poco evoluta
- ➔ gestione di un numero limitato di segnali in input/output
- ➔ costi di progettazione (hardware e software) non irrilevanti
- ➔ poca flessibilità: modifiche ai compiti da svolgere possono rendere necessaria la progettazione di un nuovo dispositivo

## □ diffusissimi quando i compiti di controllo sono noti a priori

- ➔ è possibile avviare e condurre la fase di progettazione del dispositivo in maniera particolarmente efficiente



# Sistemi di controllo con architettura a bus

---

I sistemi di controllo embedded **non** sono adeguati quando i compiti di controllo sono caratterizzati da

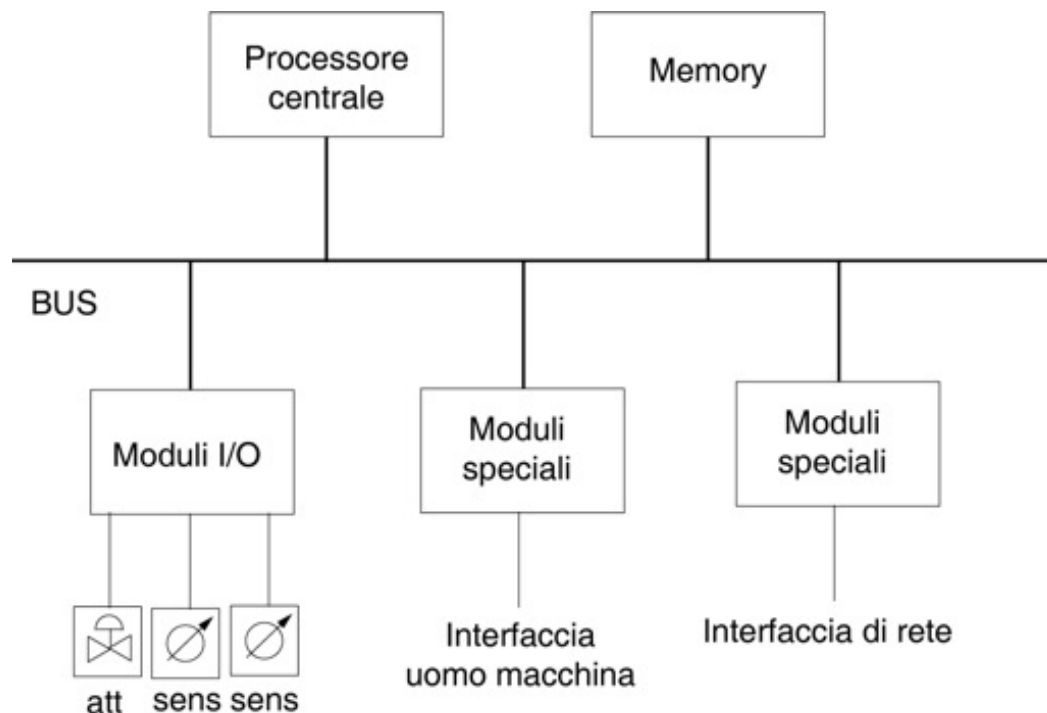
- ❑ complessità notevole
- ❑ elevato numero di segnali di input/output
- ❑ interfacce uomo-macchina più sofisticate
- ❑ interconnessione del sistema di controllo con reti informatiche

In tali casi vengono utilizzati controllori realizzati tramite **architettura a bus**

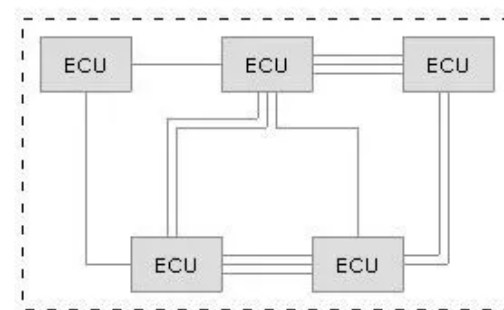
- ❑ architettura simile a quella di comuni Personal Computer

# Sistemi di controllo con architettura a bus

- ❑ **bus**: insieme di linee elettriche per la comunicazione tra dispositivi
- ❑ scheda madre caratterizzata da bus di comunicazione a cui si interconnettono differenti moduli/schede (con protocolli di accesso)
- ❑ mediante la connessione al bus possono essere utilizzati moduli per aumentare in maniera semplice e immediata le funzionalità del sistema di controllo

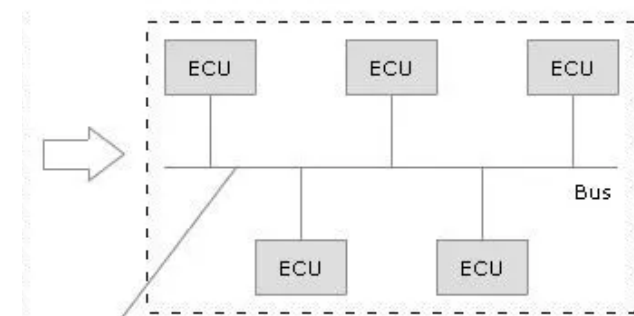


Conventional Networking



soluzione  
CAN bus per  
automotive

Bus Networking



# Sistemi di controllo con architettura a bus

---

Il bus garantisce l'interconnessione meccanica ed elettrica tra i vari moduli

## □ linee del bus raggruppate secondo la loro funzionalità

- ➔ linee dati
- ➔ linee indirizzi
- ➔ linee di alimentazione
- ➔ linee per la gestione della comunicazione

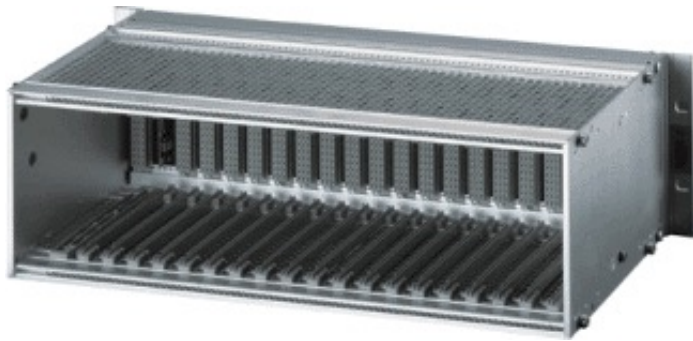
## □ bus standard

- ➔ EISA (versione industriale di ISA)
- ➔ PCI – PCI Express
- ➔ VME
- ➔ PC104 – PC104+ (stack PC)

## □ bus custom

# Sistemi di controllo con architettura a bus

## Modularità dell'architettura a bus



rack e bus



modulo  
alimentatore



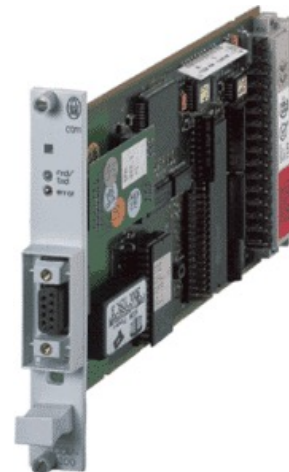
modulo CPU  
e memorie



digital I/O



analog I/O



modulo per  
espansioni



modulo per  
interfaccia di rete

# Sistemi di controllo con architettura a bus

---

## □ pro

- ➔ flessibilità di progettazione
- ➔ scelta dei moduli secondo le funzionalità da implementare

## □ contro

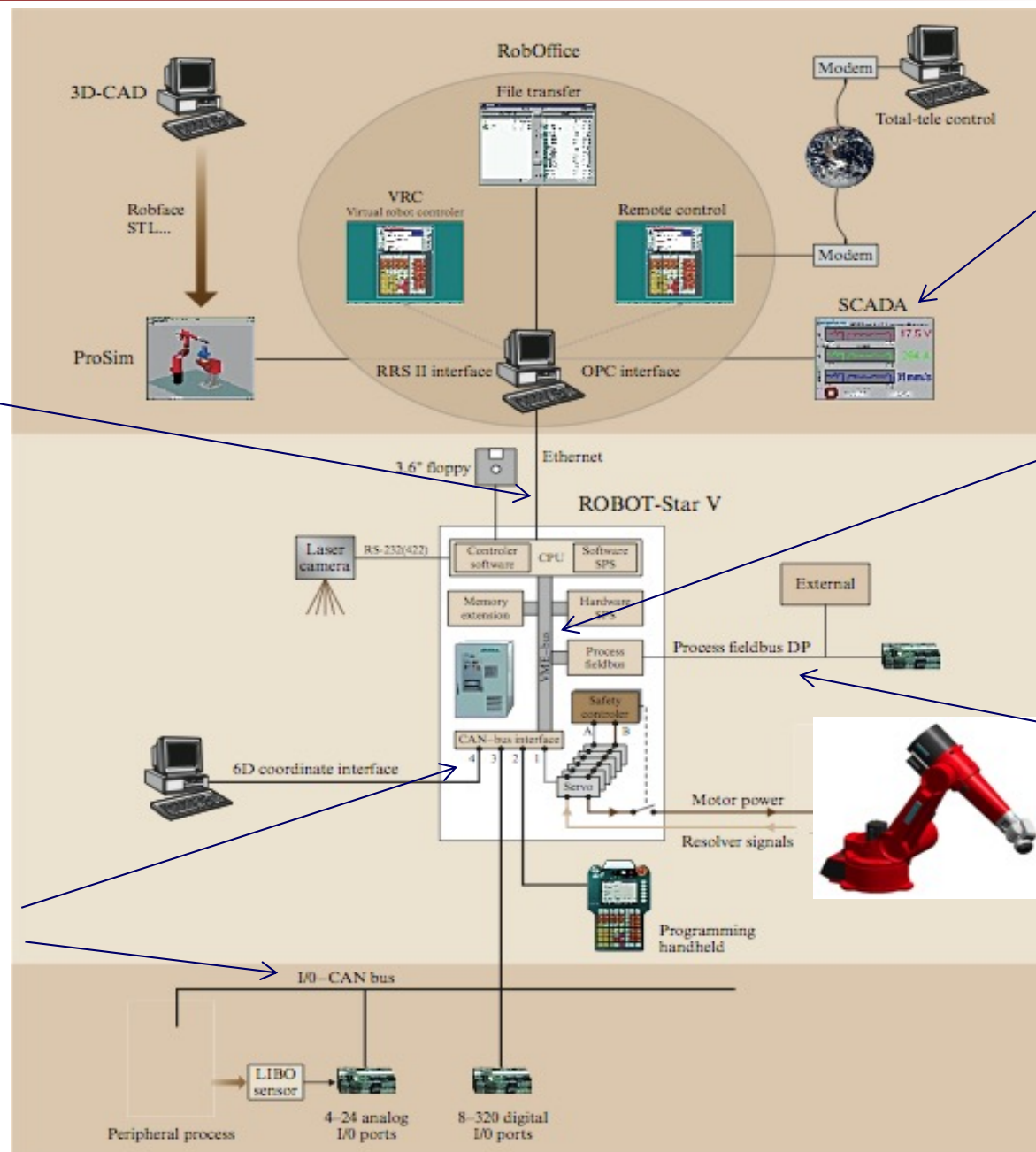
- ➔ Sistema Operativo più complesso
- ➔ gestione di tutti i moduli interconnessi e delle comunicazioni attraverso il bus
- ➔ vincoli real-time

# Controllore di robot industriale

**Ethernet** (IEEE 802.3)  
LAN di enorme uso  
a grande velocità ( $\gg 100\text{Mbps}$ ),  
con tutti i livelli ISO/OSI  
ma non deterministico  
(protocollo non real-time,  
se non modificato)

moduli di controllo  
e di gestione, con  
**reti/protocolli**  
per scambio dati  
(Reis Robotics)

**CAN bus** =  
Controller Area Network;  
bus seriale (basato su RS-485)  
per comunicazione tra  
microcontroller e dispositivi;  
protocollo di accesso:  
Carrier Sense Multiple  
Access/arbitraggio bitwise



**SCADA** =  
Supervisory Control  
And Data Acquisition

**VME bus**  
bus a linee separate  
per dati e indirizzi  
(max # con 32 bit);  
2 protocolli di accesso:  
round robin, a priorità

**Process Fieldbus**  
serie di protocolli  
per reti industriali  
che supportano un  
controllo real-time  
distribuito  
(standard **IEC 61158**)



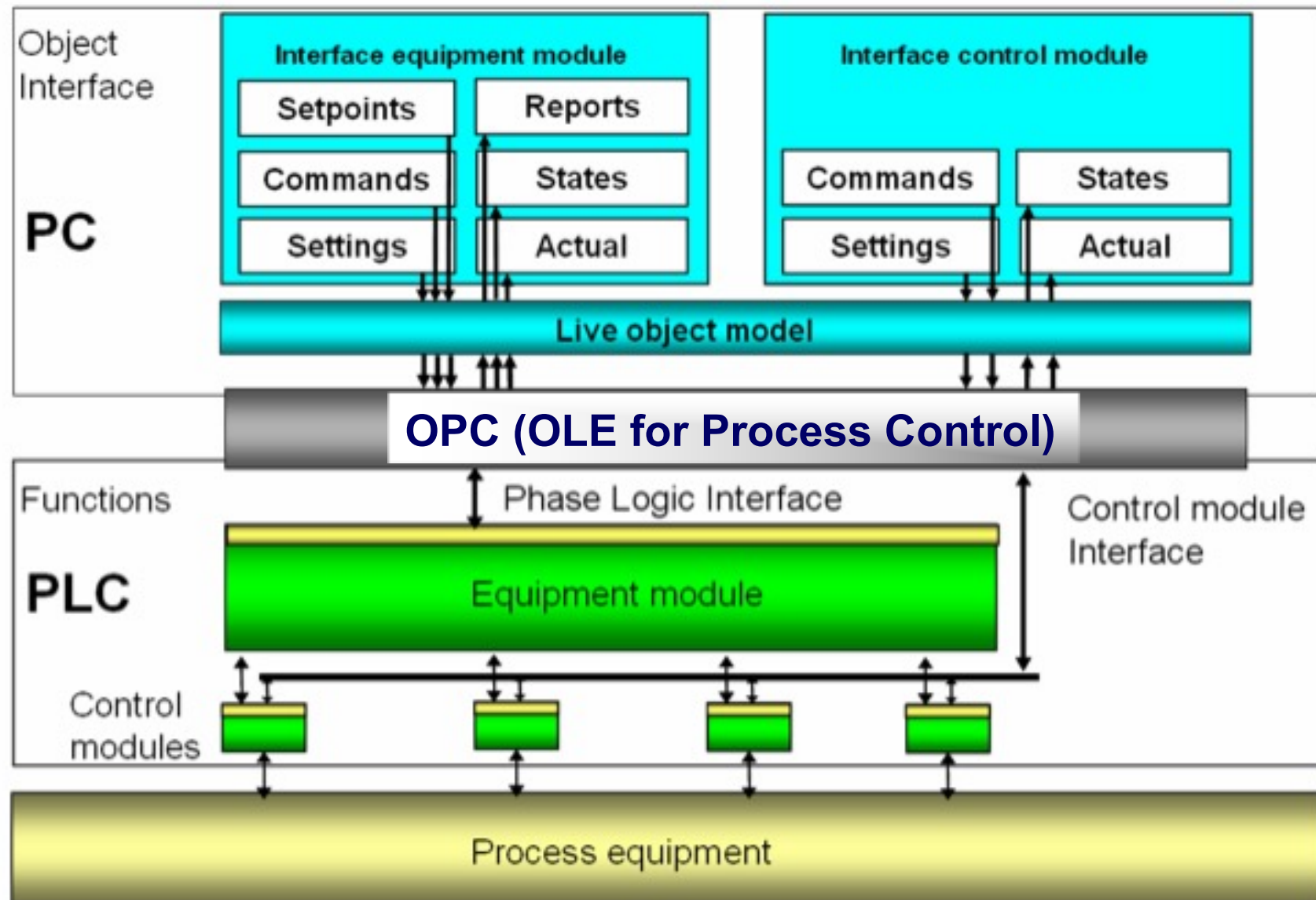
Negli ultimi anni si sta diffondendo l'uso di “comuni” Personal Computer per realizzare sistemi di controllo

- ❑ sistemi informatici con architettura a bus
- ❑ ampia disponibilità di hardware da fornitori differenti
- ❑ interfaccia uomo-macchina già presente
- ❑ semplice interconnessione a reti informatiche
- ❑ architettura a bus, quindi ottima flessibilità

Per essere utilizzato come sistema di controllo, occorrono

- ❑ Real-Time Operative System (RTOS)
  - ➔ RTAI-Linux, QNX, VxWorks, ...
- ❑ moduli/schede per l'interconnessione con un elevato numero di segnali input/output

# Interazione tra PC e PLC di controllo



- ❑ Robustezza necessaria per uso in ambienti industriali
  - ➔ temperature ambientali elevate
  - ➔ notevoli disturbi elettromagnetici
  - ➔ polvere e sporco
- ❑ ⇒ PC industriali
- ❑ ⇒ SoftPLC



# SW/HW per l'automazione



servodrive  
singolo- e  
multi-asse



frequency  
inverter  
(per motori  
a induzione)



motori  
(AC, DC,  
a/sincroni,  
in coppia,  
stepper)



riduttori



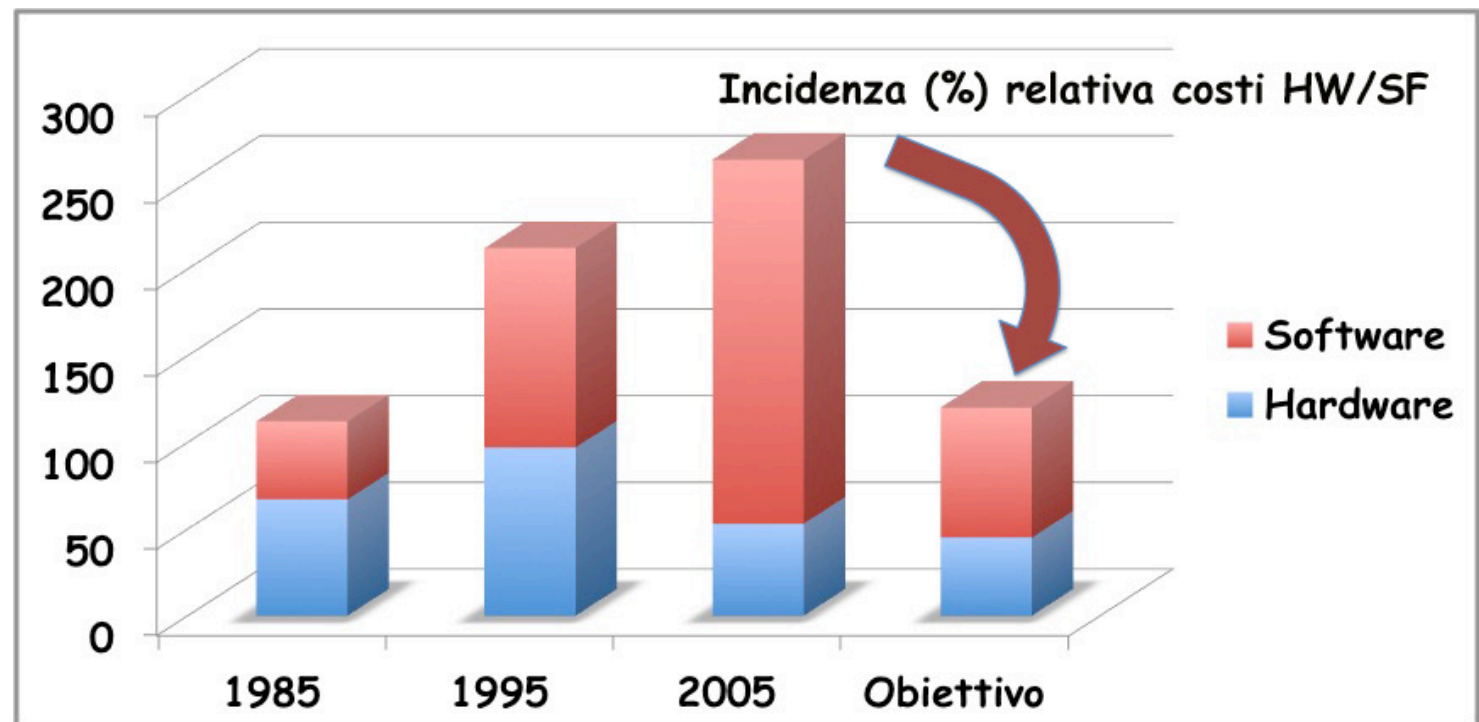
moduli di rete  
e fieldbus



software applicativi  
per l'automazione

alcune aziende attive nel  
campo della  
**Automazione Industriale**

- B&R
- Beckhoff
- Bosch Rexroth
- Lenze
- Mitsubishi
- Omron
- Rockwell
- Schneider
- Siemens



# Aziende di automazione industriale

Incontri ANIPLA@DIAG con le aziende: <http://www.diag.uniroma1.it/automatica/events>



A.N.I.P.L.A.  
ASSOCIAZIONE NAZIONALE  
ITALIANA PER L'AUTOMAZIONE



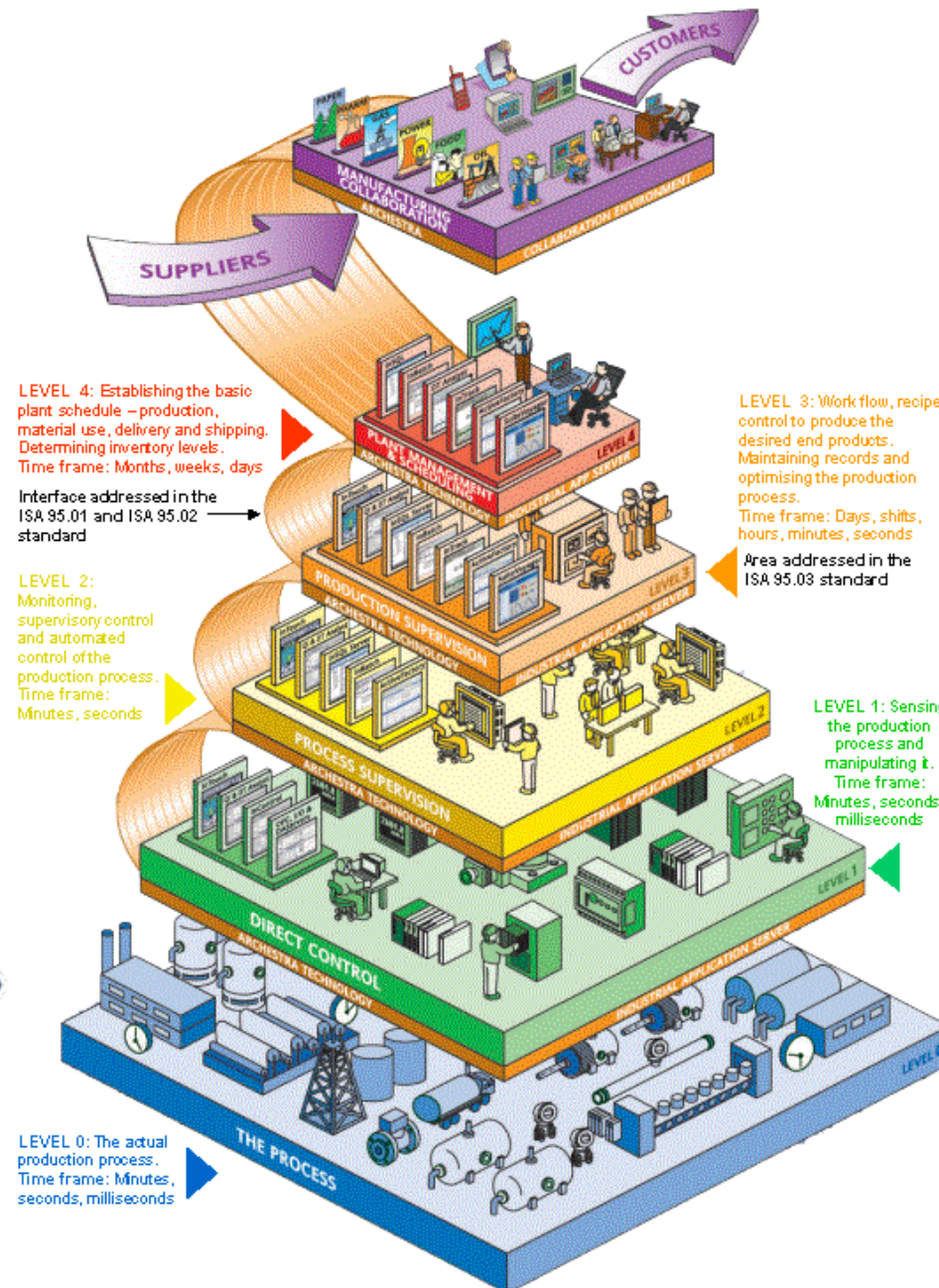
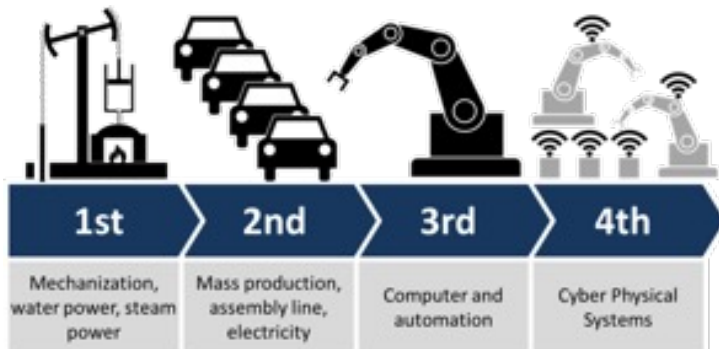


# Sommario del modulo: Piramide CIM

## Computer Integrated Manufacturing

## Standards ISA-95

## Industry 4.0 (& 5.0)



L<sub>4</sub>: Plant Management & Scheduling

L<sub>3</sub>: Production Supervision

L<sub>2</sub>: Process Supervision

L<sub>1</sub>: Direct Control

L<sub>0</sub>: Process