



## **Automazione industriale dispense del corso**

### **2. Introduzione al controllo logico**

Luigi Piroddi  
[piroddi@elet.polimi.it](mailto:piroddi@elet.polimi.it)

## Modello CIM

Un moderno sistema di produzione è conforme al modello **CIM** (Computer Integrated Manufacturing), ovvero è tale che

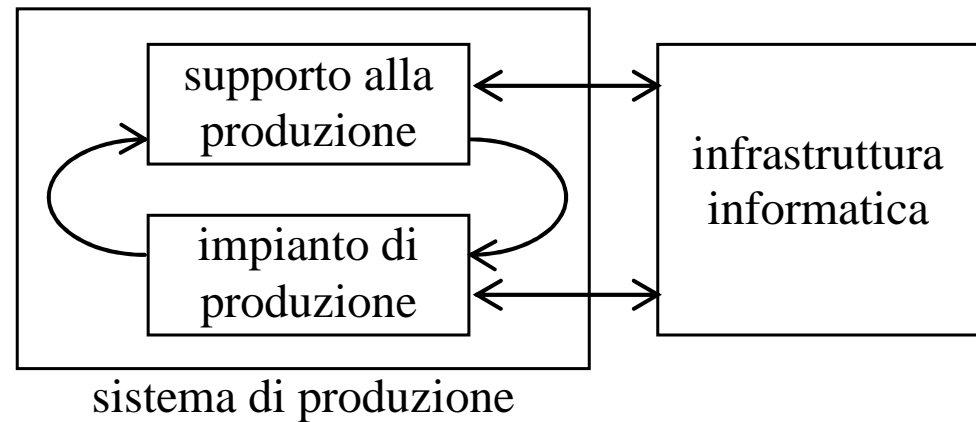
- ▶ il processo produttivo
- ▶ i sistemi di automazione
- ▶ i sistemi informativi gestionali

sono integrati in un'unica infrastruttura informatica.

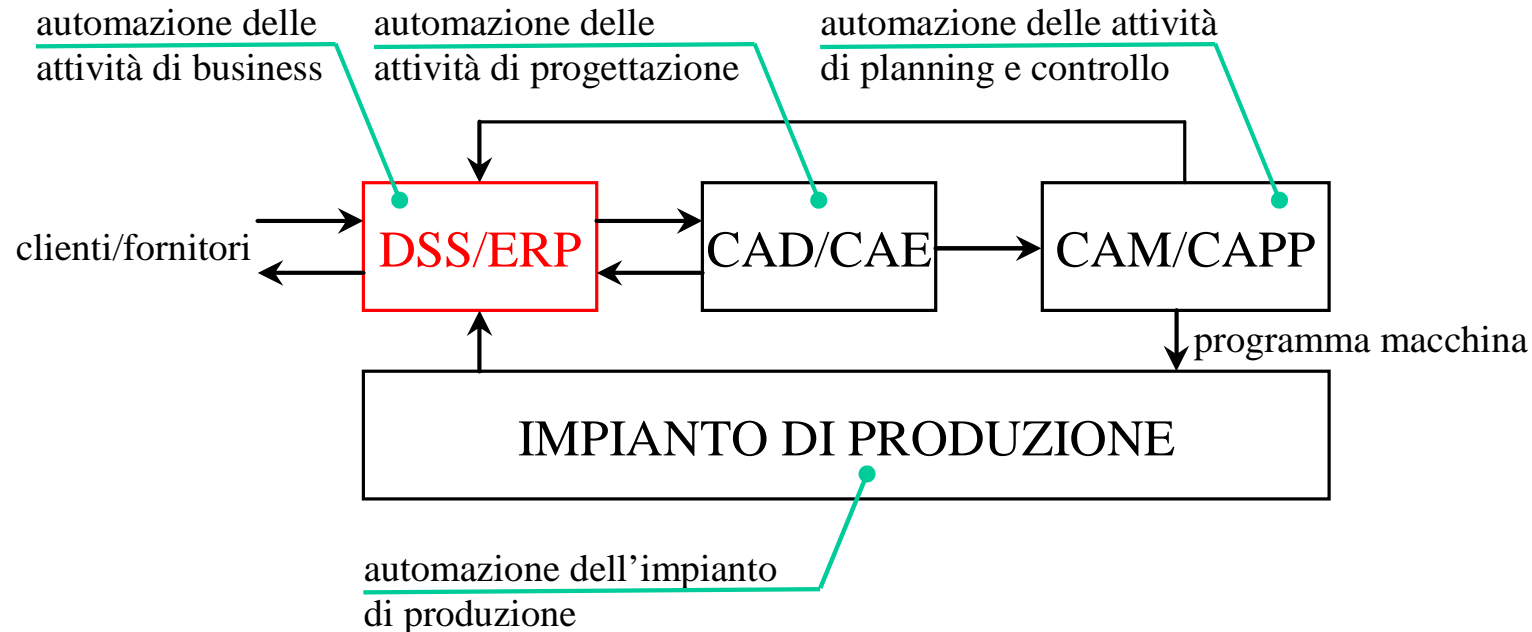
Inoltre, la struttura del sistema è gerarchica e piramidale, dal livello più basso (il *campo*) a quello più alto (*azienda*).

Ciascun livello trasmette:

- ▶ comandi al livello inferiore
- ▶ informazioni al livello superiore



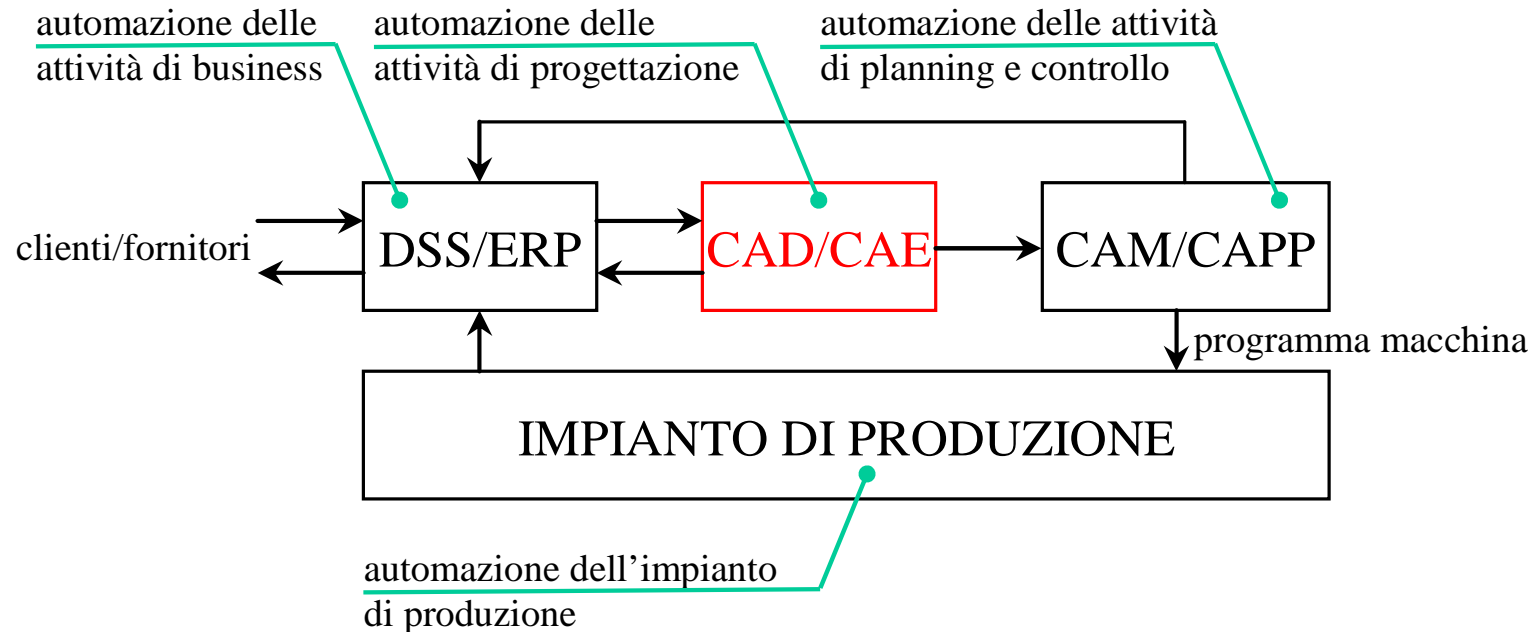
L'automazione interviene a diversi livelli, in modo integrato:



► automazione delle attività di business (DSS/ERP)

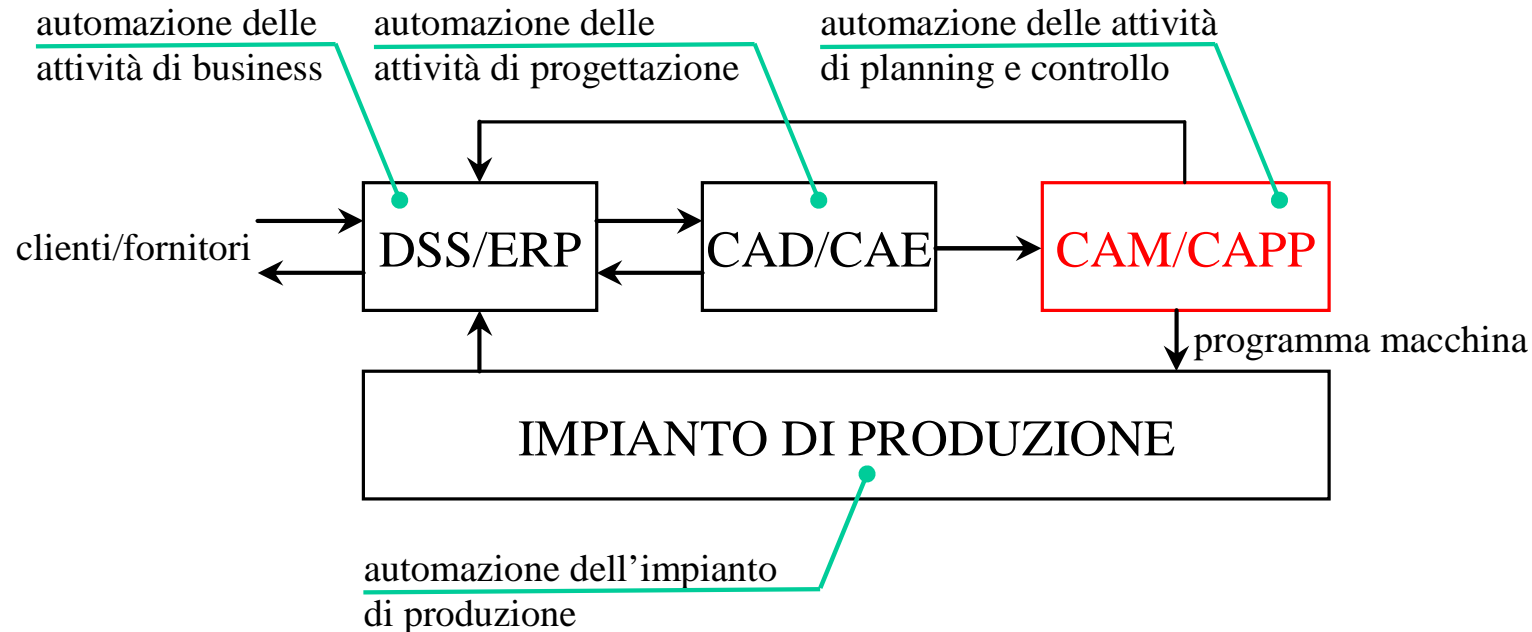
- ▼ il **DSS** (*Decision Support System*) è il sistema software che consente di operare analisi di dati e di utilizzare modelli di valutazione delle decisioni (p.es. ottimizzazione multi-obiettivo) in supporto ai processi decisionali
- ▼ l'**ERP** (*Enterprise Resource Planning*) è l'insieme delle applicazioni informatiche per l'automazione di attività di amministrazione, finanza, logistica, gestione della produzione, gestione delle risorse umane

L'automazione interviene a diversi livelli, in modo integrato:



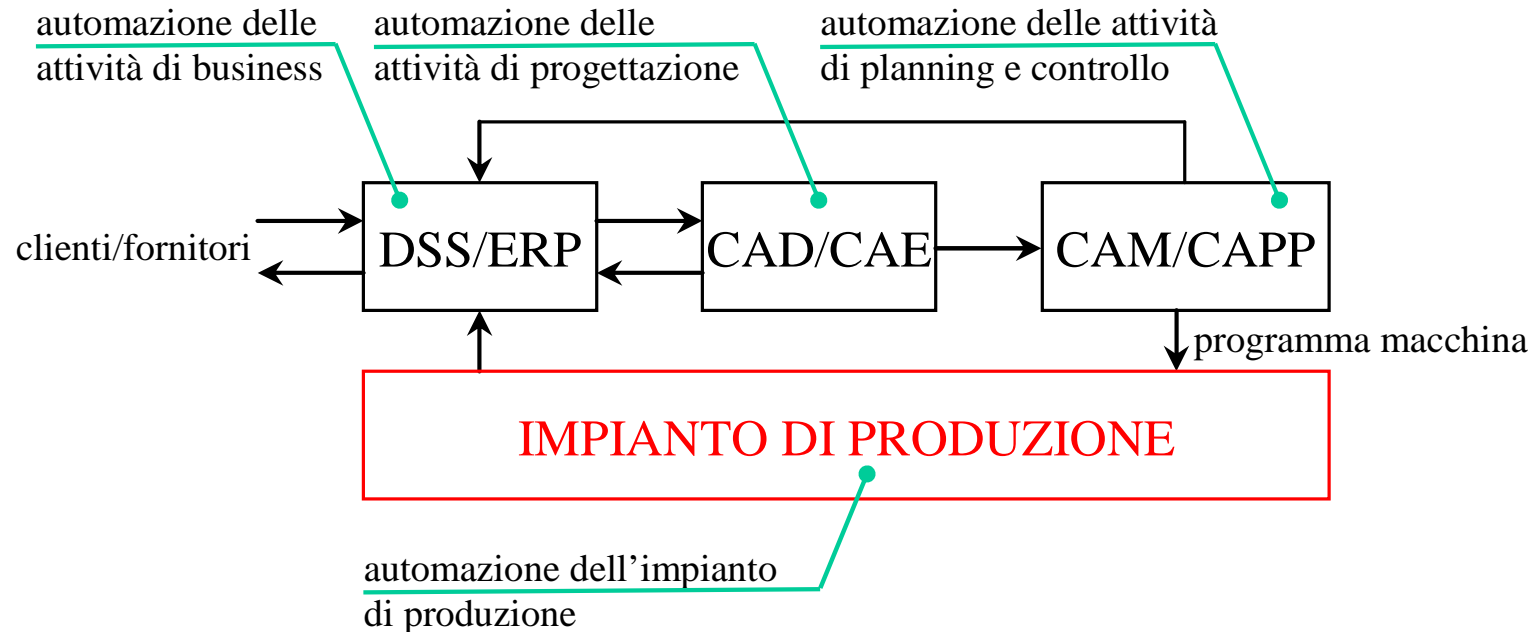
- ▶ **automazione delle attività di progettazione (CAD/CAE)**
  - ▼ **CAD** (*Computer Aided Design*), sistemi informatici di supporto alla progettazione
  - ▼ **CAE** (*Computer Aided Engineering*), strumenti SW per l'ingegneria (p.es. Finite Element Analysis (FEA), Computational Fluid Dynamics (CFD), Multibody dynamics (MBD), SW di calcolo/ottimizzazione, sistemi di simulazione).

L'automazione interviene a diversi livelli, in modo integrato:



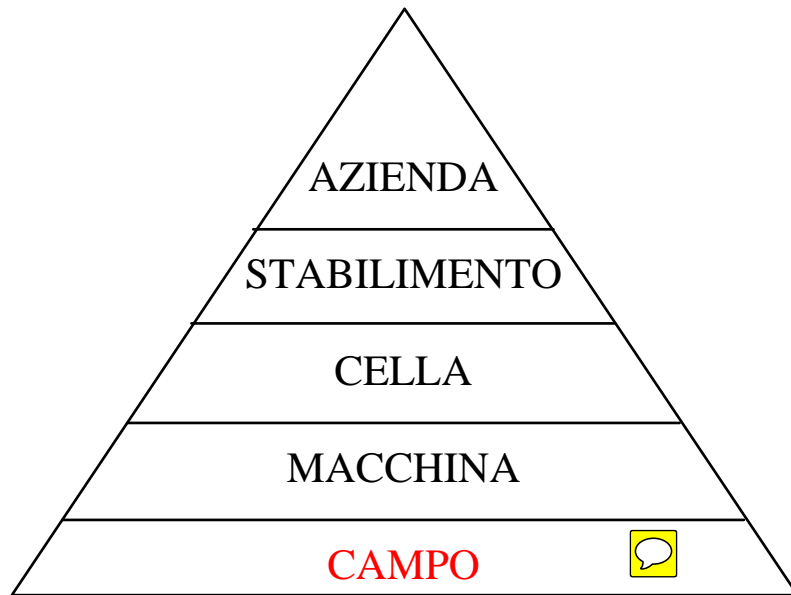
- ▶ automazione delle attività di pianificazione e controllo (CAM/CAPP)
  - ▼ **CAM** (*Computer Aided Manufacturing*), sistemi SW per il controllo di macchine utensili (un modello generato con un sistema CAD viene validato con un sistema CAE e poi usato per alimentare un sistema CAM, che si occupa di comandare la macchina utensile)
  - ▼ **CAPP** (*Computer Aided Process Planning*), sistemi di supporto alla pianificazione della produzione (p.es. definizione delle sequenze produttive, gestione del programma macchina per ogni operazione, simulazione della produzione)

L'automazione interviene a diversi livelli, in modo integrato:



- automazione dell'impianto di produzione vero e proprio

## Modello piramidale di un sistema CIM

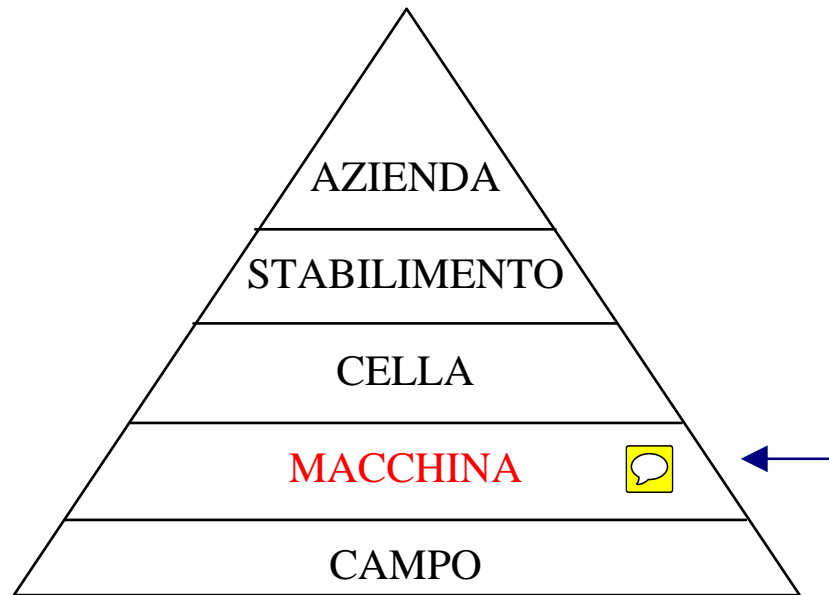


***Livello di campo:*** livello più basso della gerarchia, a cui appartengono i componenti hardware (componenti meccanici, elettromeccanici, ecc., sensori, attuatori), che svolgono le effettive operazioni di trasformazione fisica, e il loro controllo.

Un sistema di controllo di campo è visto come un attuatore virtuale dal livello superiore.

P.es., di un sistema di controllo di velocità, il livello superiore vede solo il set-point e non si preoccupa di come effettivamente il controllore operi per inseguirlo.

## Modello piramidale di un sistema CIM

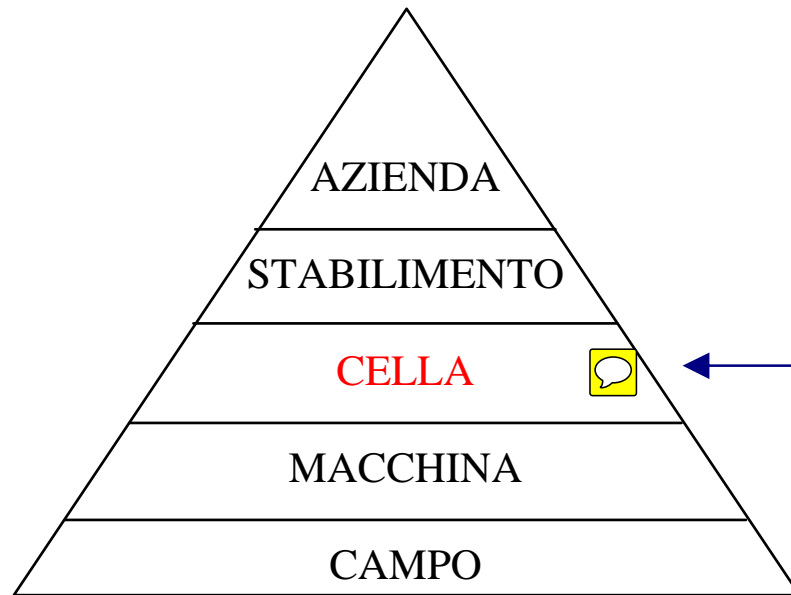


***Livello di macchina:*** a questo livello gli elementi del controllo di campo sono aggregati in gruppi di componenti atti a fornire una determinata funzionalità.

P.es., con riferimento a un robot industriale, a livello di campo si controllano posizioni e velocità dei singoli giunti, mentre a livello di macchina si pianifica il movimento e la sequenza delle operazioni che il robot deve svolgere.

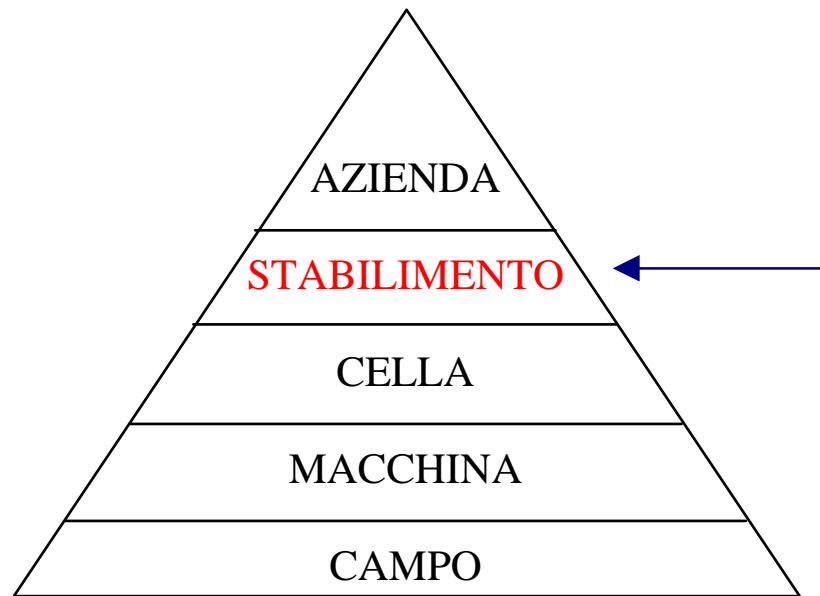


## Modello piramidale di un sistema CIM



***Livello di cella:*** una cella di produzione è un insieme di macchine interconnesse da un sistema di trasporto e stoccaggio materiali e controllate in maniera coordinata.

## Modello piramidale di un sistema CIM



***Livello di stabilimento:*** livello che racchiude tutte le celle o le linee produttive di un impianto industriale.

Riceve in input delle istruzioni del livello gestionale (p.es. pianificazione della produzione, gestione degli ordini) e le attua sotto forma di piani operativi per la produzione.

**A questo livello il sistema di controllo è lo SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition).**

## Modello piramidale di un sistema CIM



*Livello di azienda:* livello gestionale.

Non si parla più strettamente di sistema di controllo, ma di sistema decisionale.

## Controllo modulante e controllo logico

I sistemi di controllo di impianti o processi industriali possono essere estremamente più complessi e articolati rispetto a quanto visto nel corso di Fondamenti di Automatica, dove si introduce il “mattoncino” fondamentale del controllo, ovvero la retroazione, e dove si considerano per lo più dispositivi o sistemi isolati e semplici.

In particolare, si possono distinguere molteplici funzioni di controllo automatico, opportunamente coordinate tra loro, che si possono classificare in due principali categorie, a seconda del tipo di segnali da esse elaborate:

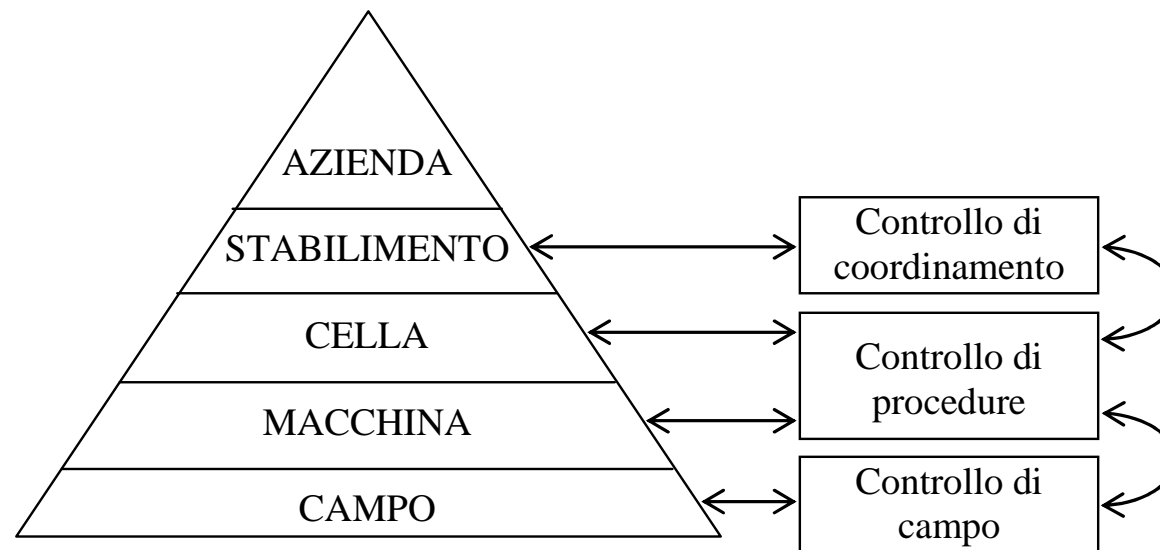
- ▶ **controllo continuo o modulante** (o regolazione):  
l'uscita del controllore varia in modo continuo  
⇒ sistemi “continui” (sistemi dinamici a tempo continuo o discreto)
- ▶ **controllo logico** (o sequenziale):  
l'uscita del controllore varia in modo discreto (numero *finito* di valori)  
⇒ sistemi “discreti” (sistemi dinamici a eventi discreti)  
(anche sistemi “continui” semplici; v. controllo di temperatura con termostato e relé)

## Gerarchia di controllo in un sistema CIM

In generale, in un impianto di grandi dimensioni, le funzioni di controllo modulante e controllo logico non sono separate nel sistema di controllo, ma interagiscono strettamente.

Tipicamente, il sistema di controllo ha una struttura gerarchica in cui si possono distinguere diversi livelli di controllo dove operano controllori di tipo modulante, logico o ibrido.

La gerarchia di controllo riflette la gerarchia CIM:



## ① *Controllo di campo*

- ▶ opera al livello di campo
- ▶ comprende i sistemi di controllo dei singoli componenti di campo
- ▶ è generalmente di tipo modulante ed è implementato su dispositivi dedicati (p.es. controllori embedded, schede dedicate per l’asservimento di motori elettrici)

## ② *Controllo di procedure*

- ▶ opera ai livelli macchina e cella
- ▶ riguarda il controllo di gruppi strutturati di componenti di campo
- ▶ può essere sia di tipo modulante (controllo di gruppi di variabili continue, determinazione di set-point, tuning adattativo di parametri di regolatori), che logico (coordinamento sequenze)
- ▶ altre funzioni sono il monitoraggio delle prestazioni, la diagnostica e la gestione automatica di malfunzionamenti
- ▶ è solitamente implementato su schede dedicate, PC industriali o PLC (per il controllo logico)

### ③ *Controllo di coordinamento*

- ▶ opera a livello di stabilimento
- ▶ riguarda il coordinamento e la gestione delle varie celle di produzione
- ▶ l’attivazione delle varie procedure produttive non è gestito necessariamente da un sistema di controllo, ma p.es. da algoritmi di scheduling
- ▶ non avendo requisiti real-time è implementato su calcolatori standard

## Problemi di automazione e problemi di gestione della produzione

### Problemi di automazione (logica):

- ▶ sequenziamento operazioni
- ▶ allocazione risorse (= macchine)
- ▶ parallelismo (pipelining)
- ▶ assenza blocchi critici

} modellizzazione e controllo  
di sistemi ad eventi discreti

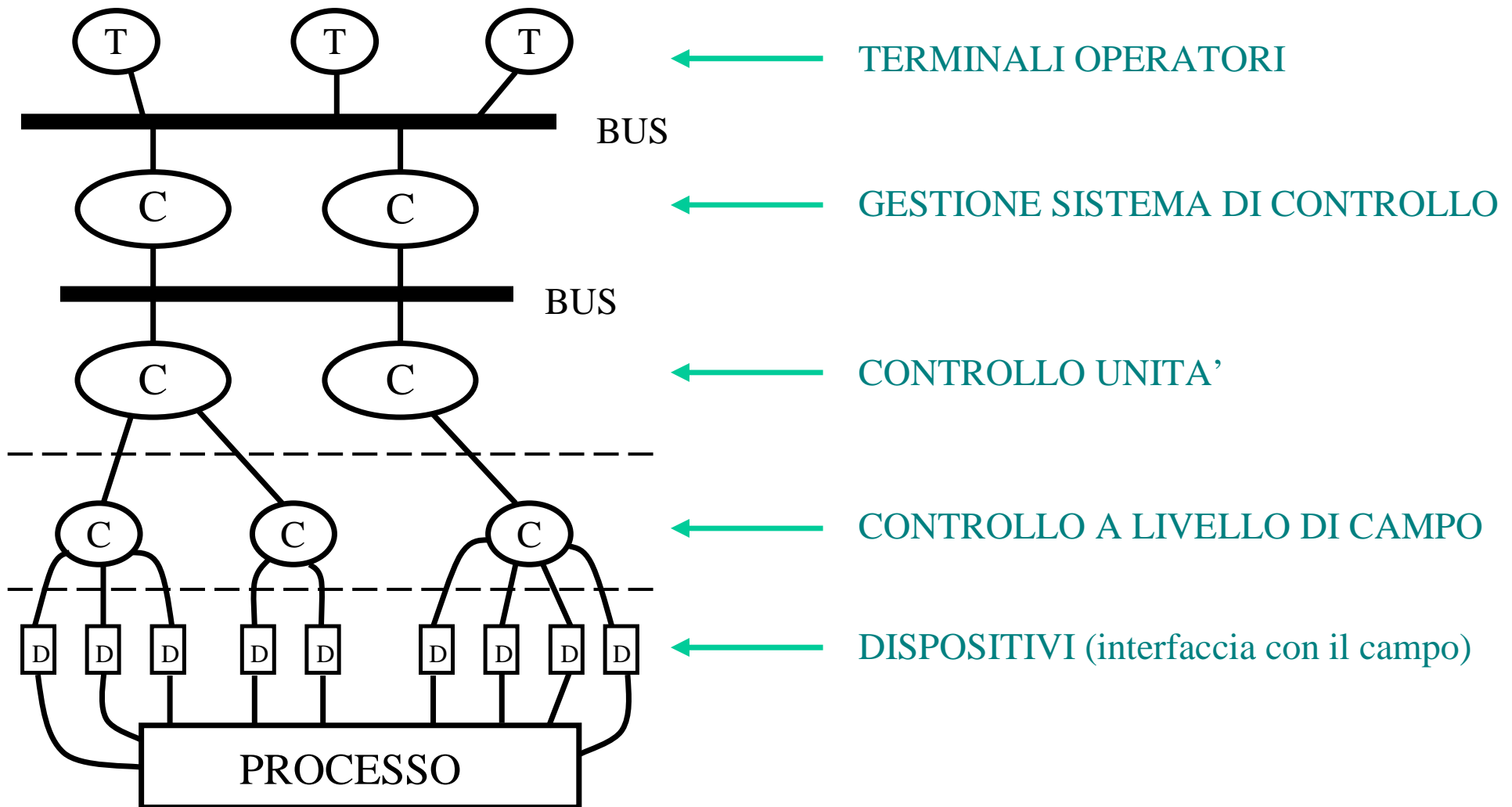
### Problemi di gestione della produzione:

- ▶ dimensionamento dell'impianto
- ▶ scheduling della produzione
- ▶ ottimizzazione delle prestazioni

} metodi di ricerca operativa



## Architettura e gerarchia del sistema di controllo



I livelli inferiori del sistema di controllo, che interagiscono direttamente con l'impianto, sono per lo più di tipo modulante:

- ▶ controlli primari (livelli, temperature, pressioni, ecc.)
- ▶ controlli asserviti (pompe, valvole, motori, ecc.)

I livelli superiori del sistema di controllo svolgono prevalentemente funzioni di controllo logico:

- ▶ supervisione
- ▶ avviamento / spegnimento
- ▶ controllo sequenze lavorazione
- ▶ gestione guasti ed emergenze
- ▶ monitoraggio

## Architettura di comunicazione

Il gran numero di dispositivi, unità di controllo, terminali coinvolti, fa intuire quanta importanza possano avere gli aspetti di

- ▶ comunicazione
- ▶ interoperabilità

in un sistema del genere.

Le strutture di comunicazione sono di solito reti a bus e si usano protocolli la cui standardizzazione è di estrema rilevanza e criticità.

Si distinguono (dall'alto verso il basso della gerarchia CIM):

- ❶ rete informativa aziendale (rete di impresa / enterprise network)
- ❷ rete per il controllo
- ❸ rete di campo (fieldbus)

## ① *rete informativa aziendale*

- ▶ collega i sistemi di supervisione di alto livello con altri sistemi informativi di azienda per scambiare informazioni relative alla produzione a fini di monitoraggio della produzione, gestione prodotti, gestione scorte di magazzino, contabilità, ecc.
- ▶ non vi sono esigenze di comunicazione *real-time* e si utilizzano pertanto protocolli standard di comunicazione (TCP/IP, DECNET, ecc.)

## ② *rete per il controllo*

- ▶ gestisce la comunicazione tra i sistemi di supervisione e di controllo dei livelli cella e i sistemi di controllo a livello macchina
- ▶ in questo caso, la correttezza e la temporizzazione della trasmissione sono critici, dato che i vari dispositivi di controllo (p.es. PLC) devono sincronizzarsi per eseguire correttamente le operazioni del processo
- ▶ le reti per il controllo sono in genere di tipo “proprietario”, con i conseguenti problemi di integrazione

### ③ *rete di campo (fieldbus)*

- ▶ normalmente i sensori e gli attuatori del campo sono collegati direttamente al controllore, attraverso i moduli di ingresso/uscita del controllore stesso
- ▶ le nuove generazioni di dispositivi di campo sono “intelligenti” (sensori ed attuatori dotati di moduli di comunicazione a microprocessore)
- ▶ la rete di campo è una rete digitale che collega i sistemi di controllo di macchina (p.es. PLC) con tali dispositivi di campo
- ▶ vantaggi ottenibili con la rete di campo:
  - ▼ semplificazione architetturale (facile espandibilità e riconfigurabilità delle reti)
  - ▼ riduzione del cablaggio (meno costi di installazione e manutenzione dei cavi)
  - ▼ possibilità di trasmettere informazioni di alto livello (funzioni di autodiagnosi, funzioni di interrupt, ecc.)
  - ▼ possibilità di configurare i sensori e gli attuatori direttamente sul campo
  - ▼ maggior robustezza delle trasmissioni (minore sensibilità ai disturbi della trasmissione digitale rispetto a quella analogica)
- ▶ problemi di natura commerciale, legati alle esigenze di standardizzazione

## Sistemi di supervisione ed acquisizione dati (SCADA)

La gestione di impianti di grandi dimensioni richiede il monitoraggio costante dei

- ▶ processi produttivi (p.es. gestione dei guasti o dei parametri di lavorazione, ecc.)
- ▶ processi commerciali (p.es. andamento ordini, stato spedizioni ai clienti)
- ▶ andamento scorte (p.es. scorte di prodotti finiti, materie prime, ecc.)

Occorre quindi un sistema semplice, utilizzabile anche da non esperti di progettazione di sistemi di controllo in grado di:

- ▶ fornire informazioni chiare e dettagliate sul processo  
(interfaccia operatore con pannelli di comando e quadri sinottici dell'impianto)
- ▶ acquisire ed elaborare una grande quantità di dati  
(analisi statistiche, rapporti periodici, memorizzazione di serie storiche)
- ▶ consentire modifiche dei parametri di lavorazione (set-point)
- ▶ gestire allarmi (procedure di correzione, eliminazione di funzioni)

Questi sistemi sono chiamati sistemi di supervisione ed acquisizione dati, o *Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA)*.