

# AUTOMAZIONE INDUSTRIALE

## Informazioni sul docente

Alberto Leva

Dipartimento di Elettronica e Informazione  
Politecnico di Milano

Telefono        02 2399 3410

E-mail            leva@elet.polimi.it

Sito web        [www.elet.polimi.it/upload/leva](http://www.elet.polimi.it/upload/leva)

Il sito contiene le slide usate a lezione, in formato pdf.

## Testi consigliati

Luca Ferrarini

Automazione Industriale: Controllo Logico con Reti di Petri  
Pitagora Editrice, 2001.

Luca Ferrarini e Luigi Piroddi

Esercizi di Controllo Logico con Reti di Petri  
Pitagora Editrice, 2002.

Pasquale Chiacchio

PLC e Automazione Industriale  
McGraw-Hill, 1996.

## Prerequisiti per il corso

- I contenuti principali dell'insegnamento di Fondamenti di Automatica per il Settore dell'Informazione (10 CFU).
- Nozioni fondamentali di
  - algebra delle matrici,
  - sistemi di equazioni e disequazioni lineari,
  - logica booleana,
  - struttura di un sistema di elaborazione dati,
  - programmazione procedurale.

# Introduzione

Controllo modulante e  
controllo logico

Obiettivi formativi del corso

# Controllo modulante e controllo logico

## - concetti fondamentali -

I sistemi di controllo industriali sono molto più articolati di quanto visto nel corso di Fondamenti di Automatica, dove si considera essenzialmente il loro “mattone base”, ovvero l’anello.

Vi sono in realtà moltissime funzioni di controllo, opportunamente coordinate tra loro. Queste funzioni si possono dividere in due principali categorie:

### **controllo modulante:**

l’uscita del controllore varia in modo continuo.

Il formalismo naturale per i problemi di controllo modulante è quello dei sistemi dinamici a tempo continuo o discreto.

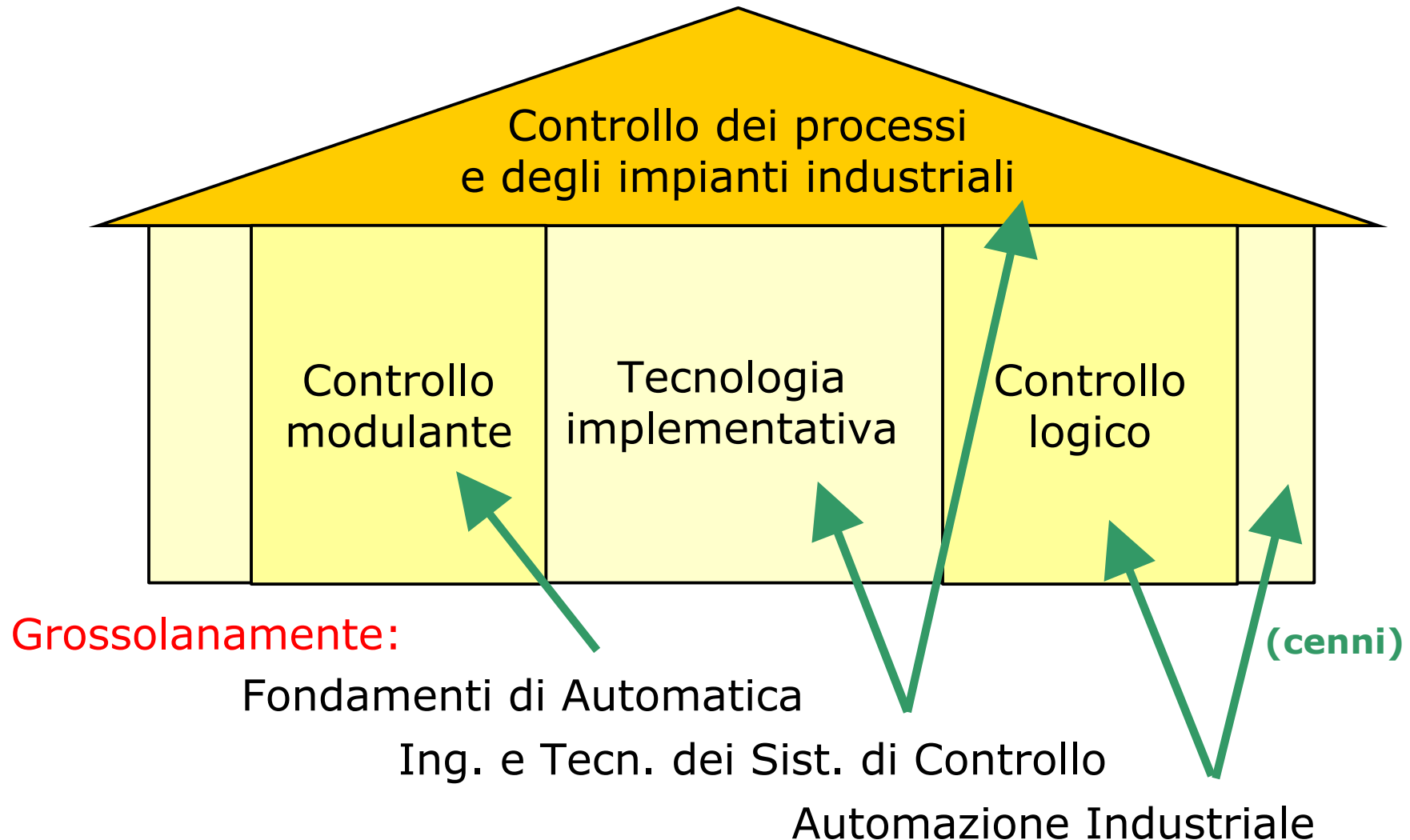
### **controllo logico:**

l’uscita del controllore varia in modo discreto (n. finito di valori).

Il formalismo naturale per i problemi di controllo logico è quello dei sistemi dinamici a eventi discreti.

# Controllo modulante e controllo logico - concetti fondamentali -

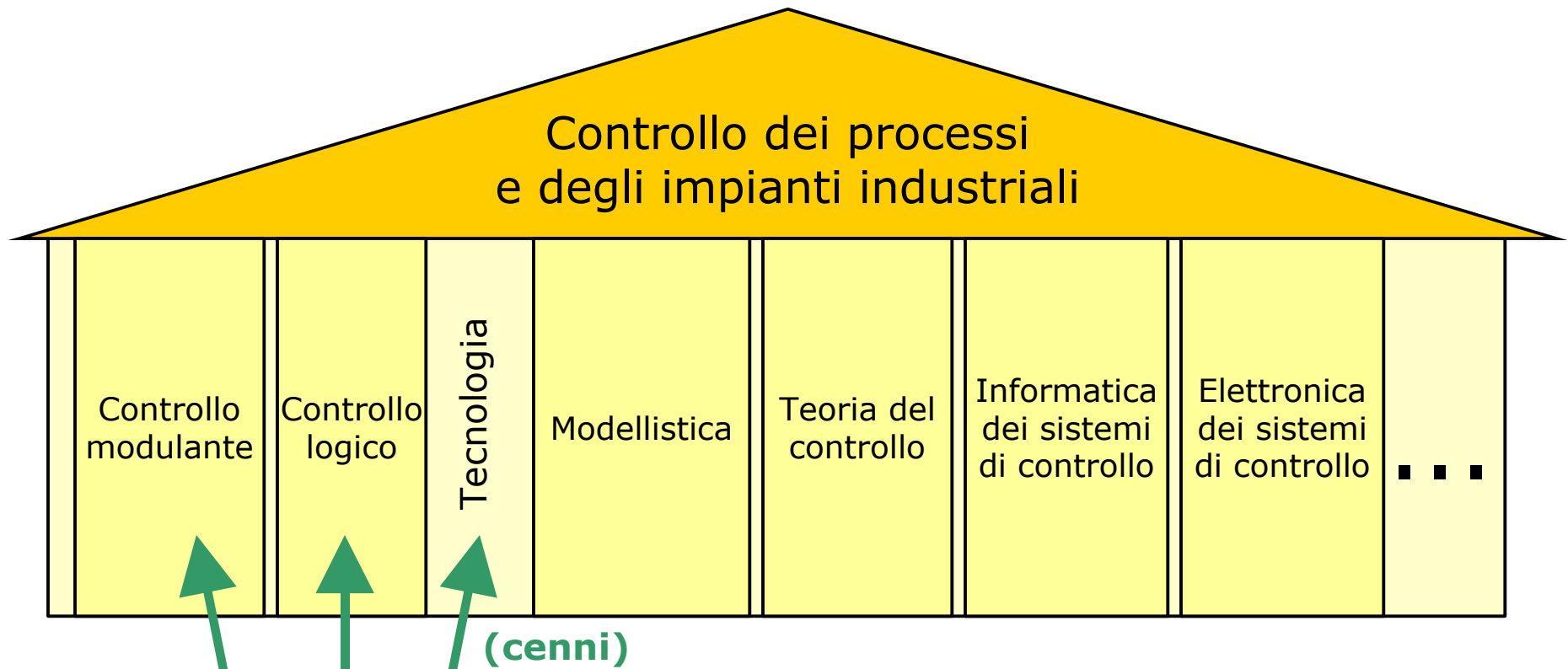
Rappresentiamo la situazione con un semplice schema concettuale:



# Controllo modulante e controllo logico - concetti fondamentali -

Perché “grossolanamente”?

Perché in realtà l’edificio è molto più articolato...



...ma a noi, che qui privilegiamo gli aspetti metodologici utili alla progettazione, all’implementazione ed alla gestione dei sistemi di automazione, interessa soprattutto questo.



## Controllo modulante e controllo logico - architettura del controllo -

Le funzioni di controllo modulante e logico interagiscono in modo molto stretto.

I sistemi di controllo hanno una **struttura gerarchica** a vari livelli, dove operano controllori di tipo modulante, logico o ibrido.

Molta importanza hanno gli aspetti di comunicazione, interoperabilità, e così via.

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

La gestione dei sistemi di controllo è un problema complesso, e per farla non si può prescindere da conoscenze di tipo tecnico.

# Controllo modulante e controllo logico

## - architettura del controllo -

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

- controlli primari (livelli, temperature, ...)
- controlli asserviti (pompe, valvole, ...)

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

- supervisione,
- avviamento e spegnimento,
- controllo delle sequenze di lavorazione,
- gestione di guasti ed emergenze.

# Controllo modulante e controllo logico

## - un po' di storia -

Il dispositivo fondamentale per il controllo logico è il **PLC** (**P**rogrammable **L**ogic **C**ontroller)

---

Fino agli anni '60, il controllo logico era fatto con dispositivi elettromeccanici come i relé. Si riuscivano ad implementare controlli anche di elevata complessità, ma c'erano diversi problemi:

- i sistemi erano costosi e ingombranti;
- non era facile integrarli col controllo modulante (fatto all'epoca con dispositivi "discreti" di tipo elettronico e/o pneumatico);
- una volta realizzato un sistema non era agevole modificarlo.

Ci si riferisce al controllo con relé con il termine **logica cablata**.

# Controllo modulante e controllo logico

## - un po' di storia -

Occorrevano controllori concettualmente nuovi, che fossero

- programmabili e (soprattutto) riprogrammabili in sito,
- modulari,
- robusti,
- di dimensioni ridotte e basso costo,
- standardizzabili, in modo da poter “mescolare” prodotti di case diverse.

Il primo PLC con queste caratteristiche fu prodotto nel 1968 dalla General Motors. Verso la metà degli anni '70, la Allen Bradley introdusse il primo PLC basato su microprocessore (8080).

I moderni PLC hanno capacità di controllo sia logico che modulante.

Per il controllo con PLC si usa il termine **logica programmabile**.

## Controllo modulante e controllo logico - la situazione odierna -

Oggi più che di logica programmabile si parla di **logica distribuita**, visto che vengono quasi sempre impiegati più PLC connessi in rete, a vantaggio della modularità sia “fisica” che dei costi.

Per questo, nonostante oggi la potenza dei sistemi di PLC sia quasi infinita rispetto alle esigenze, mettere a punto un sistema di controllo in modo efficace ed economicamente conveniente non è semplice. Occorre infatti considerare diversi fattori:

- aderenza alle specifiche tecniche (ovvio);
- adeguatezza della soluzione nel breve periodo (non facile da garantire, soprattutto per impianti di nuova concezione);
- modularità (per essere certi che il sistema sia espandibile con costi di sviluppo sostenibili);
- aderenza agli standard (per proteggere l'investimento garantendo che le soluzioni adottate siano supportate anche nel futuro e anche se si decidesse di cambiare i fornitori).

# Il corso di Automazione Industriale

## - obiettivi formativi -

- Completamento delle nozioni apprese in Fondamenti di Automatica, al fine di mettere l'allievo a conoscenza di come si affronta un problema di controllo logico:
  - nuovi strumenti matematici (sistemi dinamici a eventi discreti o **DEDS**, Discrete Event Dynamical Systems);
  - un formalismo descrittivo per i DEDS (le **Reti di Petri**);
  - nuovi metodi di progetto del controllo (per i DEDS).
- Nozioni sui PLC e sul loro uso per l'implementazione dei sistemi di controllo logico o ibrido (logico+modulante):
  - standard internazionali e normative;
  - linguaggi di programmazione e sistemi di sviluppo;
  - uso dei PLC per implementare i controllori progettati.
- Presentazione di alcuni pacchetti software impiegati per l'analisi dei DEDS e l'implementazione del controllo tramite PLC.

# Sistemi dinamici a eventi discreti

Concetti fondamentali  
Definizione

# Sistemi dinamici a eventi discreti

## - premessa -

Richiamiamo alcuni concetti fondamentali sui sistemi dinamici:

- Un sistema è dinamico se per determinare il valore delle variabili d'uscita in un certo **istante** non è sufficiente conoscere il valore in quell'istante delle variabili d'ingresso, ma occorre anche quello di altre variabili dette di stato.
- Nei sistemi dinamici, l'andamento delle variabili di stato ed uscita in un certo **intervallo di tempo** è determinato dall'andamento delle variabili d'ingresso e dal **valore iniziale** di quelle di stato.

Nei sistemi dinamici che conosciamo finora, le variabili sono (vettori di) numeri reali e l'evoluzione è guidata dal **tempo** (continuo o discreto), essendo essa la soluzione di un sistema di equazioni differenziali o alle differenze dove la variabile indipendente è appunto il tempo.



## Sistemi dinamici a eventi discreti

### - un esempio introduttivo -

Consideriamo un semplicissimo sistema fisico fatto da una lampada ed un pulsante: quando si preme e si rilascia il pulsante, se la lampada era spenta si accende e se era accesa si spegne. L'accensione e lo spegnimento avvengono nell'istante di rilascio del pulsante. Vogliamo fare un modello di questo sistema.

**Serve un modello (o sistema) dinamico?**

Sì, perché sapendo la "storia" delle pressioni del pulsante (**ingresso**) non so quella dell'accensione della lampada: devo sapere anche com'era all'inizio (**stato iniziale**).

**Quali sono le variabili in gioco?**

Pulsante (ingresso)	coi <b>valori</b> {premuto, non premuto}
Lampada (stato e uscita)	coi <b>valori</b> {accesa, spenta}

# Sistemi dinamici a eventi discreti

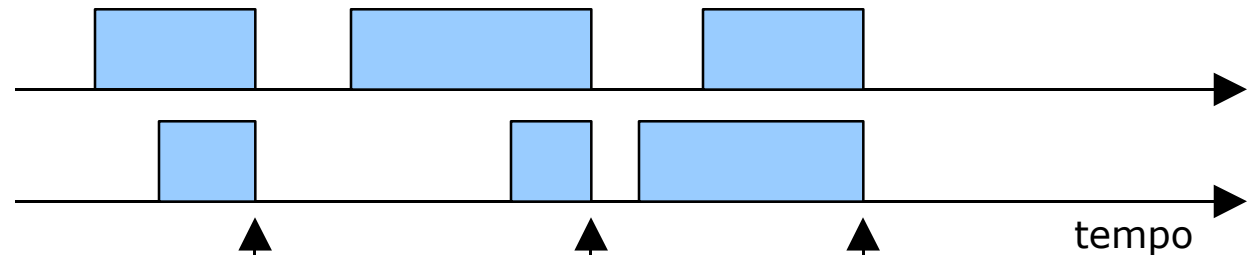
## - un esempio introduttivo -

### Cosa fa evolvere il sistema?

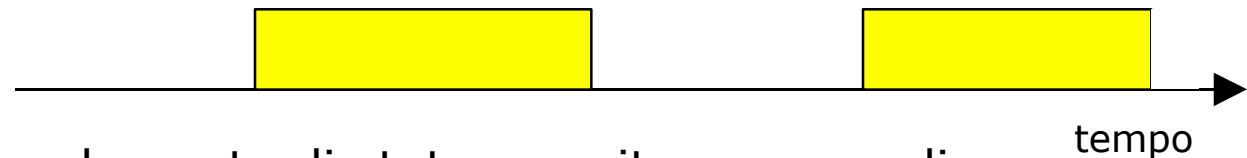
Non il tempo in sé e nemmeno - dato lo stato iniziale - l'andamento degli ingressi, ma l'occorrenza degli eventi (qui il solo evento in gioco è il rilascio del pulsante).

Infatti

con lo stesso stato iniziale (lampada spenta),  
due andamenti della  
pressione sul  
pulsante  
diversi



ma caratterizzati dalla stessa sequenza di eventi (rilasci)



producono lo stesso andamento di stato e uscita, ovvero gli stessi eventi di cambio di stato e d'uscita (qui accensioni e spegnimenti).

# Sistemi dinamici a eventi discreti

## - concetti fondamentali -

### Generalizziamo.

- Il sistema fisico dell'esempio è descrivibile con un modello (o sistema) dinamico.
- Questo sistema dinamico ha però due caratteristiche fondamentali che lo rendono per noi "nuovo":
  - Le variabili assumono valori scelti in un dato insieme, che non è necessariamente numerico (diremo allora che si tratta di "variabili lessicali");
  - L'evoluzione non è guidata dal tempo ma dagli eventi.

## Sistemi dinamici a eventi discreti - definizione -

Un sistema (o modello) dinamico a eventi discreti  
è un sistema (o modello) dinamico  
in cui le variabili sono lessicali  
e l'evoluzione è guidata dagli eventi.

Nel seguito, visto che i sistemi che c'interessano sono tutti dinamici, useremo per brevità l'acronimo **DES** (**D**iscrete **E**vent **S**ystem) al posto di DEDS.

I DES sono lo strumento naturale per trattare i problemi di controllo logico, come i sistemi dinamici a tempo continuo o discreto lo sono per i problemi di controllo modulante.

Per i sistemi dinamici a tempo continuo o discreto conosciamo dei **formalismi** che ci consentono di scrivere i modelli e "fare i conti" con essi (spazio di stato, funzione di trasferimento).

Ci occorre un analogo formalismo per i DES.

# Sistemi dinamici a eventi discreti

Modelli logici e temporizzati  
Formalismi descrittivi

# Sistemi dinamici a eventi discreti - osservazioni -

Richiamiamo la definizione di DES.

Un sistema (o modello) dinamico a eventi discreti (DES)  
è un sistema (o modello) dinamico  
in cui le variabili sono lessicali  
e l'evoluzione è guidata dagli eventi.

Abbiamo visto che il ruolo del tempo nei DES è in un certo senso "marginale", nel senso che il tempo c'è (tutto succede nel tempo) ma a governare il sistema sono gli eventi.

Questo vuol dire che di un dato sistema fisico si possono fare modelli in forma di DES che considerano anche il tempo oppure no, posto che comunque a "comandare" sono gli eventi.

Chiariamo questo importante concetto rifacendoci all'esempio già visto in precedenza (lampada e pulsante).

## Sistemi dinamici a eventi discreti - esempio -

Supponiamo che succeda quanto descritto qui sotto:

**Stato iniziale:** lampada accesa

<b>tempo</b>	<b>eventi pulsante</b>	<b>eventi lampada</b>
t0	pressione	
t1	rilascio	spegnimento
t2	pressione	
t3	rilascio	accensione

Gli eventi che “esistono” per il modello (non tutti gli eventi possibili sono da includere nel modello, dipende dal problema) sono quelli in blu.

Posso “raccontare la storia” dello stato del sistema trascurando il tempo, e tale storia sarà

{spegnimento, accensione} in risposta a {rilascio, rilascio} con stato iniziale accesa.

## Sistemi dinamici a eventi discreti - esempio -

Posso anche “raccontare la storia” dello stato del sistema includendovi il tempo, e tale storia sarà

{spegnimento a  $t_1$ , accensione a  $t_3$ } in risposta a  
{rilascio a  $t_1$ , rilascio a  $t_3$ } con stato iniziale accesa.

Posso quindi fare modelli DES che non includono il tempo (e li chiameremo **modelli logici**) o che lo includono (e li chiameremo **modelli temporizzati**)...

...ma comunque a far evolvere il sistema sono gli eventi.



# Sistemi dinamici a eventi discreti

## - concetti fondamentali -

Generalizziamo e riassumiamo.

- Un DES è caratterizzato da **variabili lessicali** ed **evoluzione guidata dagli eventi**.
- Se un modello DES di un sistema fisico non include il tempo lo chiamiamo **modello logico**, se lo include **modello temporizzato**.
- I modelli logici servono a capire se e come il sistema evolve (stati di blocco, ...).
- I modelli temporizzati servono ad analizzare le prestazioni (tempi di lavorazione, pezzi prodotti nell'unità di tempo,...).

# Sistemi dinamici a eventi discreti

## - concetti fondamentali -

### Due fatti fondamentali.

- Per i modelli logici ci sono strumenti che consentono di farne l'analisi in modo formale (ad esempio è possibile vedere a priori se sono possibili dei blocchi).
- Per i modelli temporizzati non ci sono strumenti così potenti, e per capire cosa succede bisogna ricorrere alla simulazione.

### Quindi,

in un problema di controllo è sempre bene “enucleare” la parte che si può descrivere con un modello logico (impareremo a farlo) e trattarla in tale veste.

# Sistemi dinamici a eventi discreti

## - formalismi descrittivi -

### Premessa.

- Finora abbiamo usato i termini “sistema” e “modello” in modo praticamente intercambiabile.
- In realtà, è bene distinguere il sistema (fisico) dal suo modello, nel creare il quale già si è deciso quali fenomeni descrivere e quali no, che approssimazioni prendere, e via dicendo.
- Il modello, quindi, non corrisponde propriamente al solo sistema fisico, ma anche al problema per risolvere il quale il modello stesso viene creato.

### Tuttavia,

dato che in questo corso opereremo sempre sui modelli, che quindi per noi “saranno” i sistemi oggetto del controllo, d’ora in poi si parlerà sempre di “sistemi” per uniformità con la letteratura, e si dirà esplicitamente “sistema fisico” le (poche) volte che ad esso ci si riferirà.

# Sistemi dinamici a eventi discreti

## - formalismi descrittivi -

I DES si possono descrivere con molti formalismi.

Noi ne vediamo soltanto due:

- gli **automi a stati finiti**, che introduciamo per capire quali sono le esigenze cui un formalismo descrittivo per i DES deve rispondere e poi non approfondiamo ulteriormente;
- le **reti di Petri**, che saranno invece il formalismo su cui ci baseremo nel corso.

Come conseguenza di quanto detto, ci concentriamo in modo quasi esclusivo su modelli di tipo **logico**.

## Sistemi dinamici a eventi discreti

### - automi a stati finiti -

Sono modelli che, in estrema sintesi, descrivono un DES dicendo che

quando il sistema è in un certo stato (e produce certe uscite)  
e succede un certo evento (ingresso)  
il sistema va in un cert'altro stato  
e produce certe altre uscite.

NOTA: come nei sistemi dinamici a tempo continuo o discreto, il "cuore" del problema è determinare l'evoluzione dello stato; le uscite dipendono dallo stato e dall'ingresso in modo istantaneo, ovvero "senza dinamica".

A suo tempo, impareremo a scrivere un'equazione di stato anche per i DES.

# Sistemi dinamici a eventi discreti

## - automi a stati finiti -

### Esempio.

Un sistema è costituito da una finestra, che può essere aperta (AP) o chiusa (CH), e da una lampada, che può essere accesa (AC) o spenta (SP). Vi è un comando per accendere la lampada (ac) e uno per spegnerla (sp), uno per aprire la finestra (ap) e uno per chiuderla (ch). L'uscita è lo stato stesso.

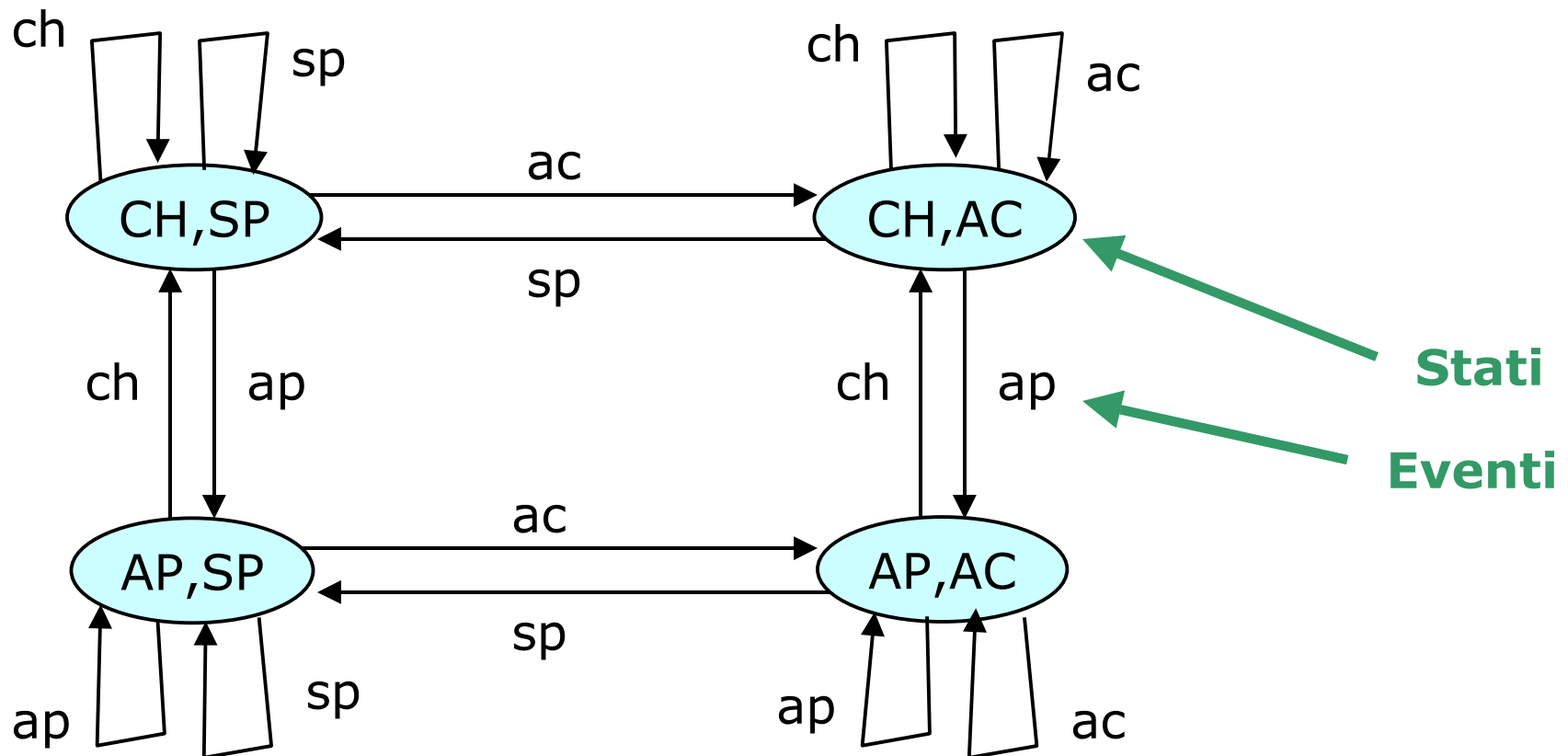
Descriviamo il sistema con un automa (basta lo stato):

Stato prec.	Evento (ingresso)	Stato succ.
CH,SP	ac	CH,AC
CH,SP	sp	CH,SP
CH,SP	ap	AP,SP
CH,SP	ch	CH,SP
...		

## Sistemi dinamici a eventi discreti

### - automi a stati finiti -

Gli automi a stati finiti si rappresentano meglio con schemi come quello seguente, riferito all'esempio:



## Sistemi dinamici a eventi discreti

### - automi a stati finiti -

Lo schema è praticamente autoesplicativo e gli automi sono un formalismo comodo, ma hanno alcuni problemi che ne rendono sconsigliabile l'utilizzo per il controllo logico. Vediamo i principali.

- Il numero di stati è comunque finito.
- Lo stato è una "parola" che allinea tutte le variabili di stato, e quindi:
  - se le variabili sono tante, lo schema dell'automa è complesso;
  - se si aggiunge una sola variabile booleana, le dimensioni dell'automa raddoppiano.
- Non c'è nessuna leggibilità locale, nel senso che non c'è corrispondenza tra parti dell'automa e "pezzi" del sistema fisico.



## Sistemi dinamici a eventi discreti

### - automi a stati finiti -

Invece, noi vorremmo

- poter descrivere modelli con un numero di stati anche infinito;
- poter aggiungere al problema variabili che abbiamo scoperto strada facendo essere d'interesse, oppure cambiare l'insieme di valori assumibili da una o più variabili, senza dover rifare tutto il modello e senza che la sua complessità esploda;
- ottenere il modello "assemblando" sottomodelli relativi a parti del sistema fisico (ad esempio le singole macchine di una fabbrica) e potendo rimpiazzare queste parti con altre;
- vedere chiaramente nel modello lo stato e l'evoluzione delle sue singole parti.

# Sistemi dinamici a eventi discreti

## - formalismi descrittivi -

### Conclusioni.

- La scelta del formalismo descrittivo dei DES per il controllo logico è un problema non banale, tanto che è ancora oggetto di ricerca e dibattito.
- Comunque, abbiamo visto che non tutti i formalismi vanno bene (si pensi agli automi).
- Nel seguito, introdurremo un altro formalismo (le reti di Petri) che risponde alle nostre esigenze ed è di fatto quello più usato nel controllo logico.

Le reti di Petri saranno oggetto delle prossime lezioni.