

# Azionamenti Elettrici

Parte 3

Azionamenti  
per il  
Controllo Assi

**Prof. Alberto Tonielli**

DEIS - Università di Bologna

Tel. 051-6443024

E-mail: [atonielli@deis.unibo.it](mailto:atonielli@deis.unibo.it)

# Indice generale del corso

---

## ■ Parte 1

- Introduzione, richiami di Controlli Automatici ed Elettrotecnica
- Generazione elettromagnetica di coppia

## ■ Parte 2

- Tipologie dei motori elettrici e dei relativi azionamenti
  - Motori ed azionamenti C.C.
  - Motori ed azionamenti Brushless (sincroni a magneti permanenti)
  - Motori ed azionamenti Asincroni ad Induzione
  - Motori passo-passo e coppia

## ■ Parte 3

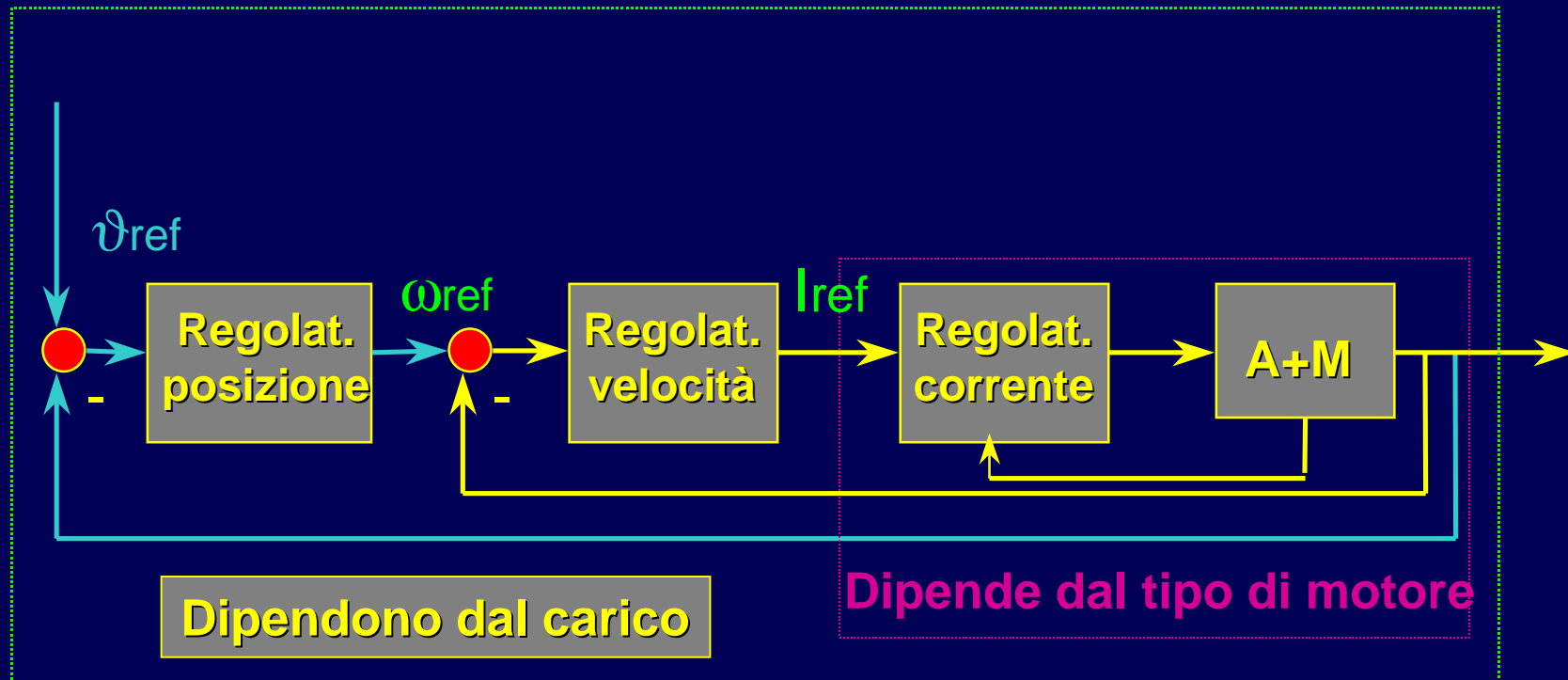
- **Azionamenti per il controllo assi**

## ■ Parte 4

- Scelta dell'azionamento
- Dimensionamento del motore e dell'amplificatore
- Esempi di dimensionamento

- Schema generale di un Controllo Assi
- Azionamenti per l'Automazione
- Funzioni avanzate di controllo
  - Assi, Camme
- Confronto tra soluzioni
- Azionamenti per il controllo assi
- Evoluzione

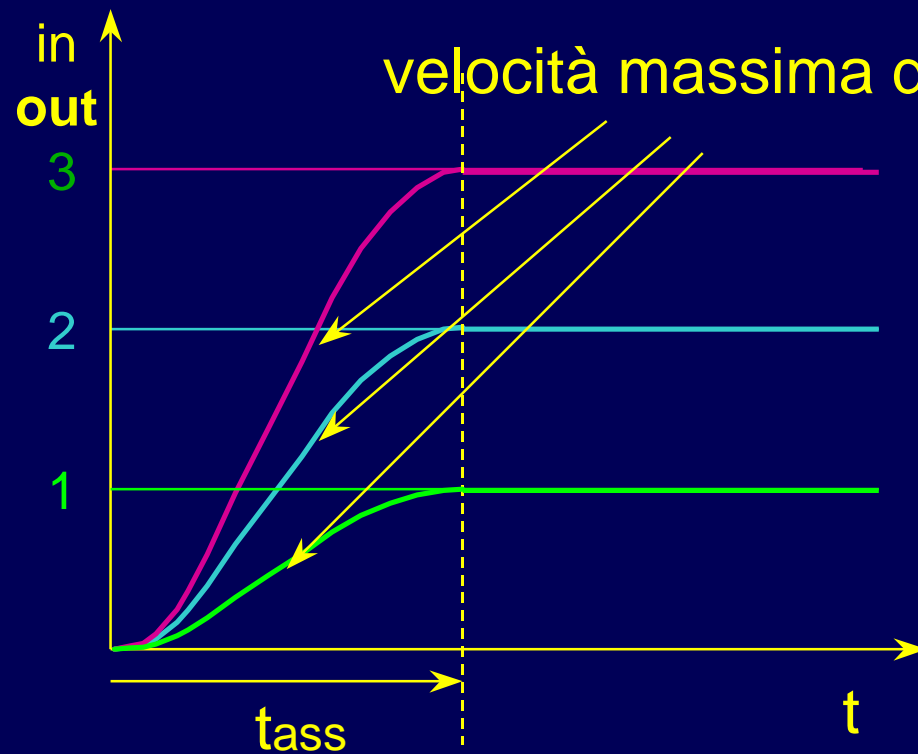
# Schema di controllo di posizione in cascata



L'anello di posizione di solito è esterno all'azionamento

# Controllo di posizione

## Risposta di un sistema dinamico lineare

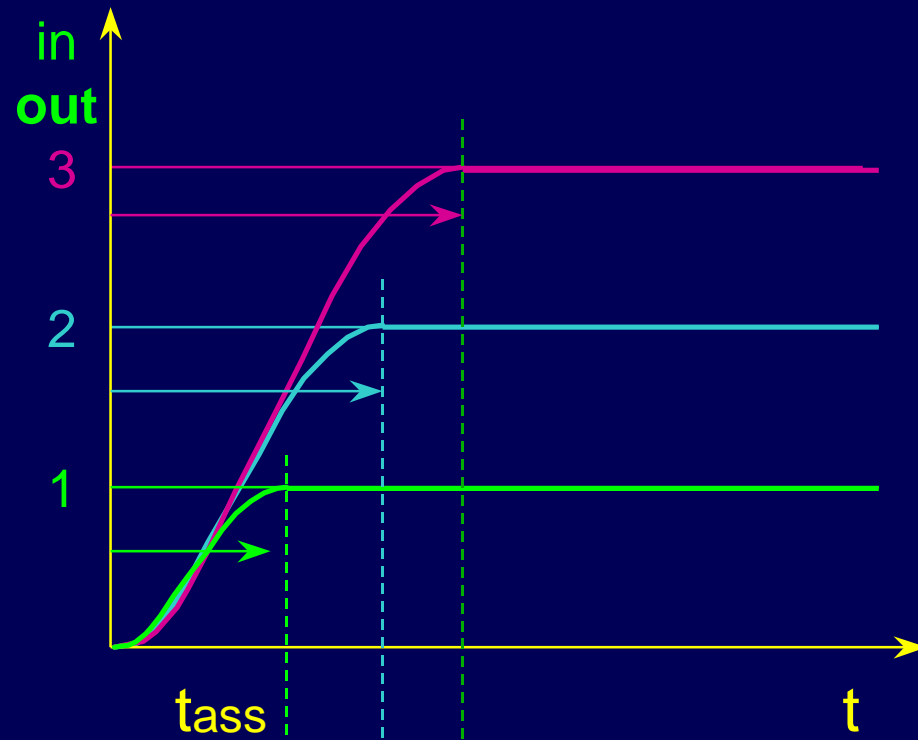


in presenza di vincoli sulla velocità max (limiti di tensione sull'amplificatore) il guadagno va dimensionato per lo spostamento massimo

gli altri spostamenti sono inutilmente lenti

# Controllo di posizione

## Risposta di un sistema dinamico **non** lineare



- migliore sfruttamento dell'amplificatore

- tempi minimi di spostamento



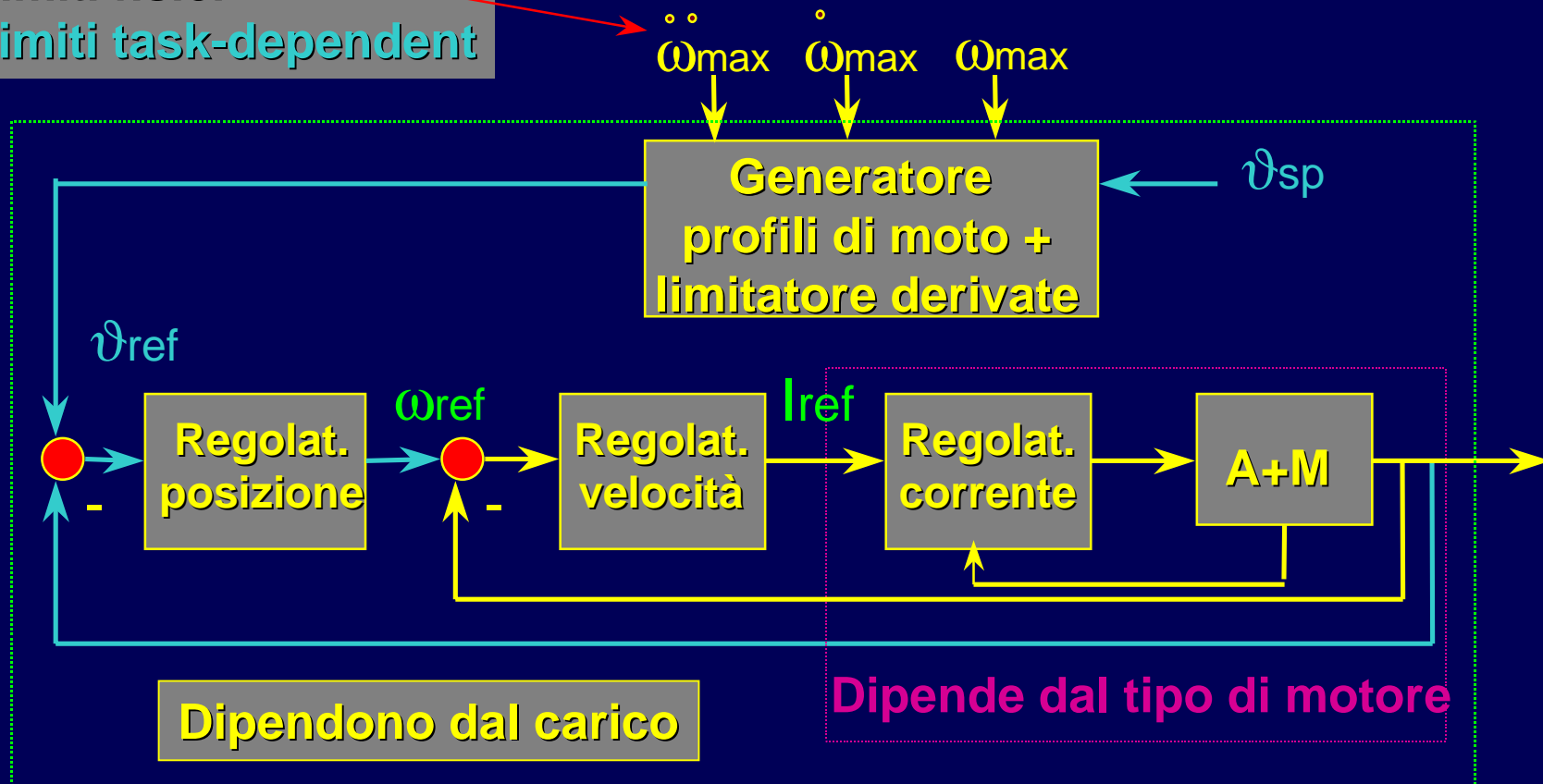
generazione non lineare dei riferimenti



di solito rampe

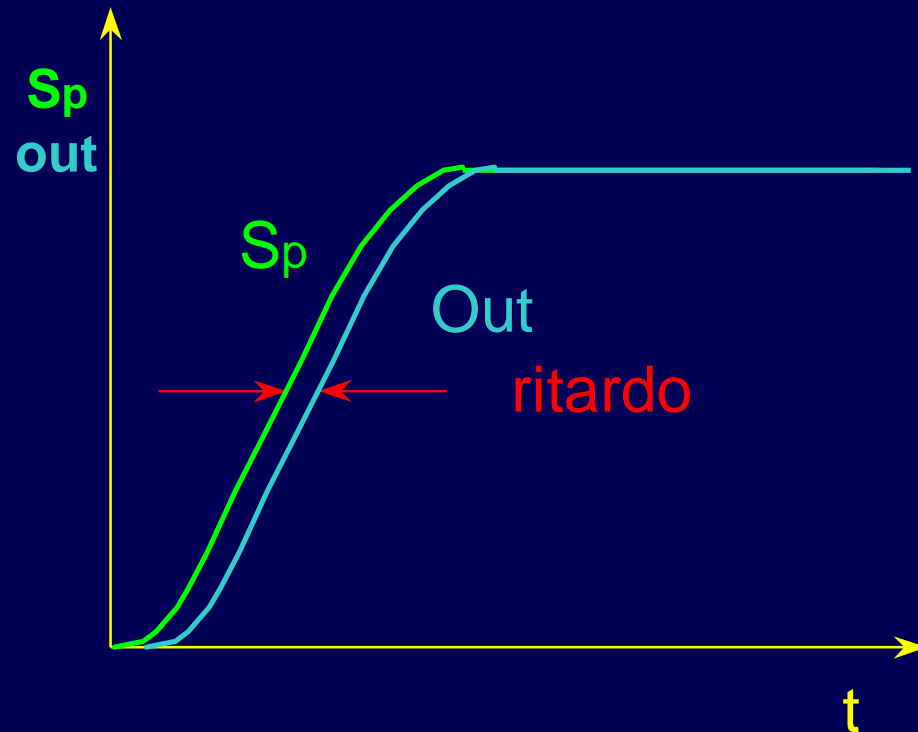
# Schema di controllo in cascata

limiti fisici  
limiti task-dependent



generazione non lineare del riferimento di posizione

## Risposta di un sistema di controllo in cascata

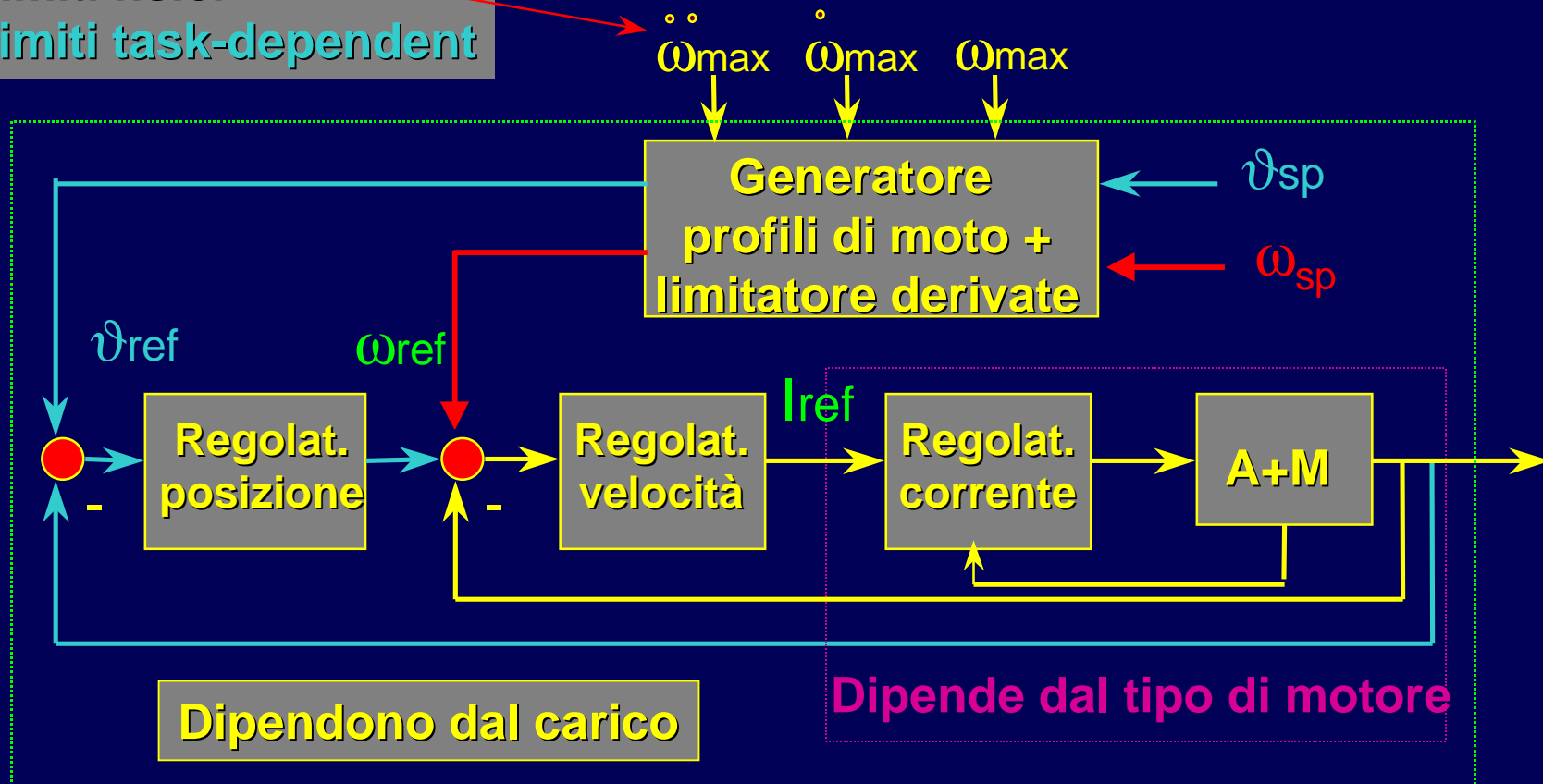


Si può compensare il ritardo introducendo azioni di controllo in avanti (feed-forward)



# Schema di controllo in cascata

limiti fisici  
limiti task-dependent



generazione non lineare del riferimento di posizione

## Caratteristiche generali

### Affidabilità, Diagnostica, Manutenibilità

- autodiagnosi, diagnosi remota
- analisi delle situazioni di fermo macchina
- sostituzione senza tarature
- ripetibilità caratteristiche
- funzionamento in ambiente ostile

## Caratteristiche generali

### Interfaccia verso la rete di alimentazione

- prestazioni con rete degradata
- microinterruzioni
- fattore di potenza elevato (bassa distorsione)
- rigenerazione in rete
- disturbi elettromagnetici irradiati
- disturbi elettromagnetici condotti sulla rete

## Caratteristiche generali

### Controllo di velocità

- moti regolari ad alta coppia e bassa velocità
- velocità massima anche superiore a quella nominale
- funzionamento a coppia costante/potenza costante
- capacità di inseguimento di profili complessi di moto

### Tuning dei regolatori

- semplice
- automatico a richiesta dell'operatore
- adattativo durante il funzionamento

# Azionamenti per automazione

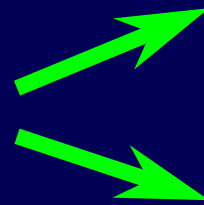
---

sostituzione di sistemi di trasmissione meccanica del moto



generazione di leggi di moto su un motore Slave sincronizzato al movimento di un motore Master

due tipi di moto



intermittente

continuativo

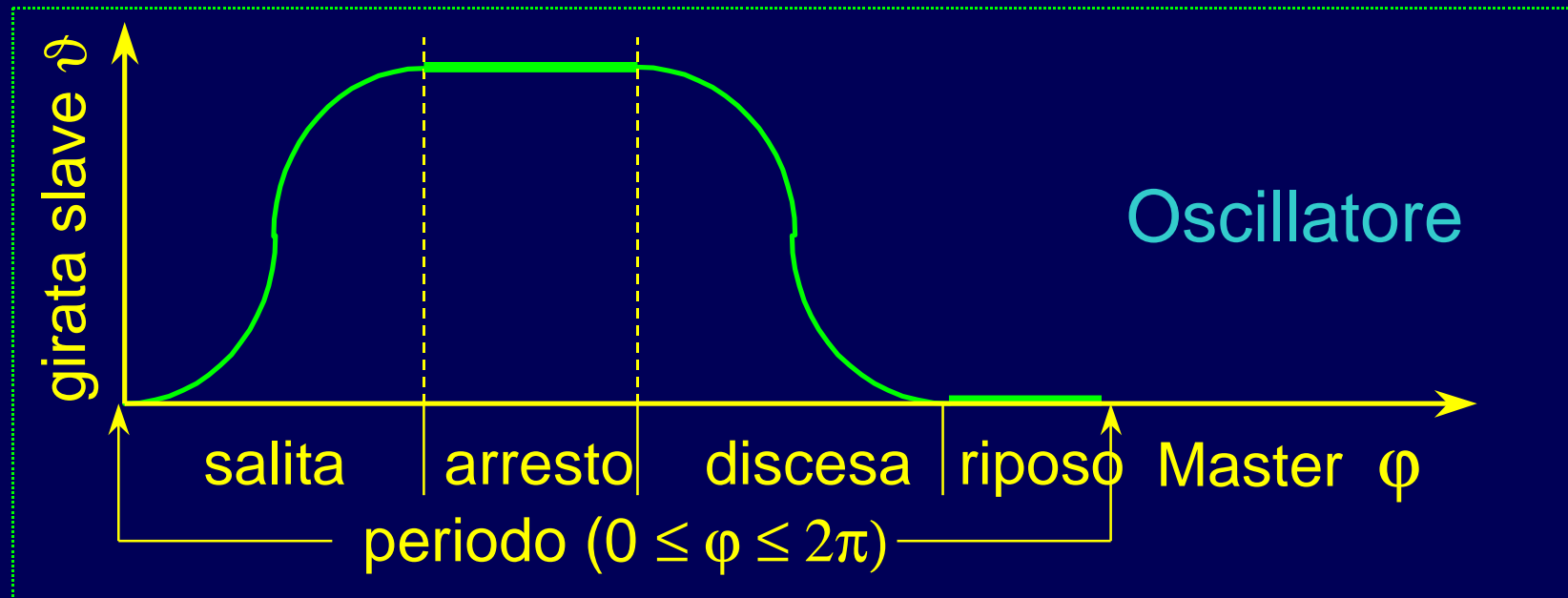
## Camma meccanica

dispositivo per la trasformazione di un moto rotativo uniforme in uno periodico con precise relazioni di fase tra i due moti e con controllo delle accelerazioni

## Camma elettrica

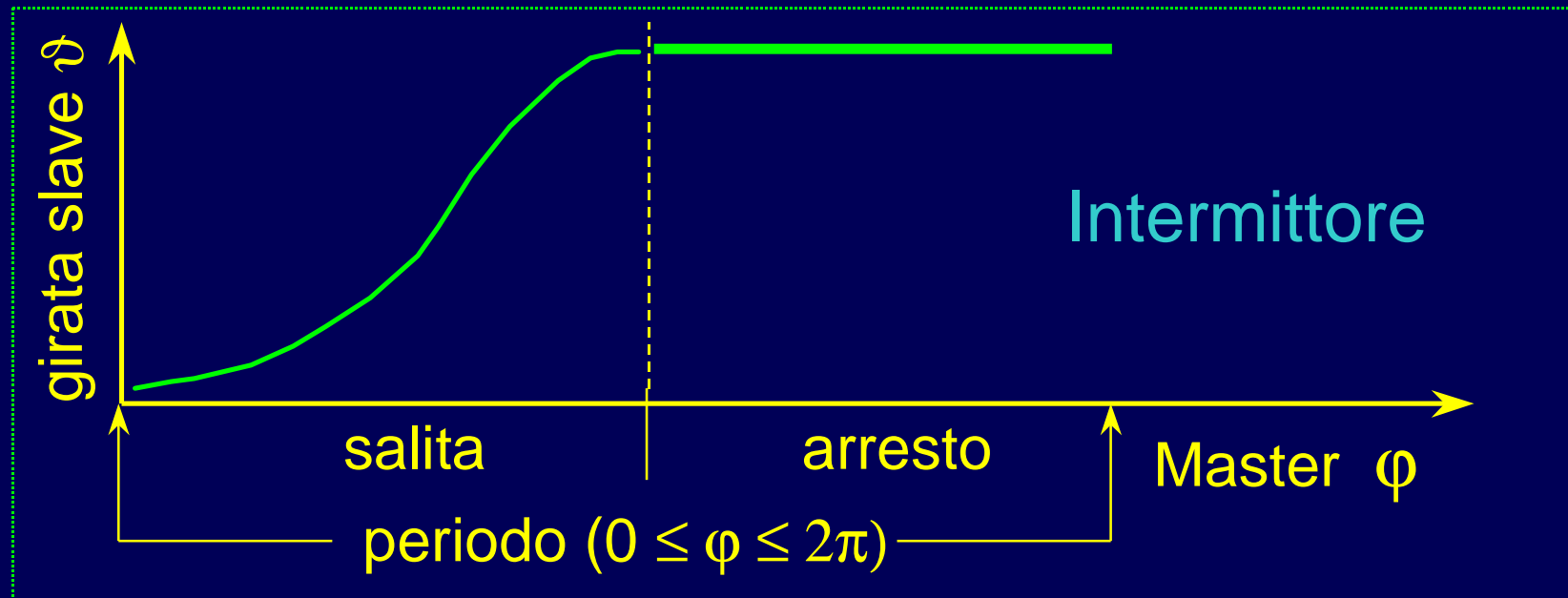
metodo di controllo di un azionamento per la generazione di moti periodici con precise relazioni di fase rispetto al movimento di un altro motore (Master) e con controllo delle accelerazioni

## Diagramma delle girate



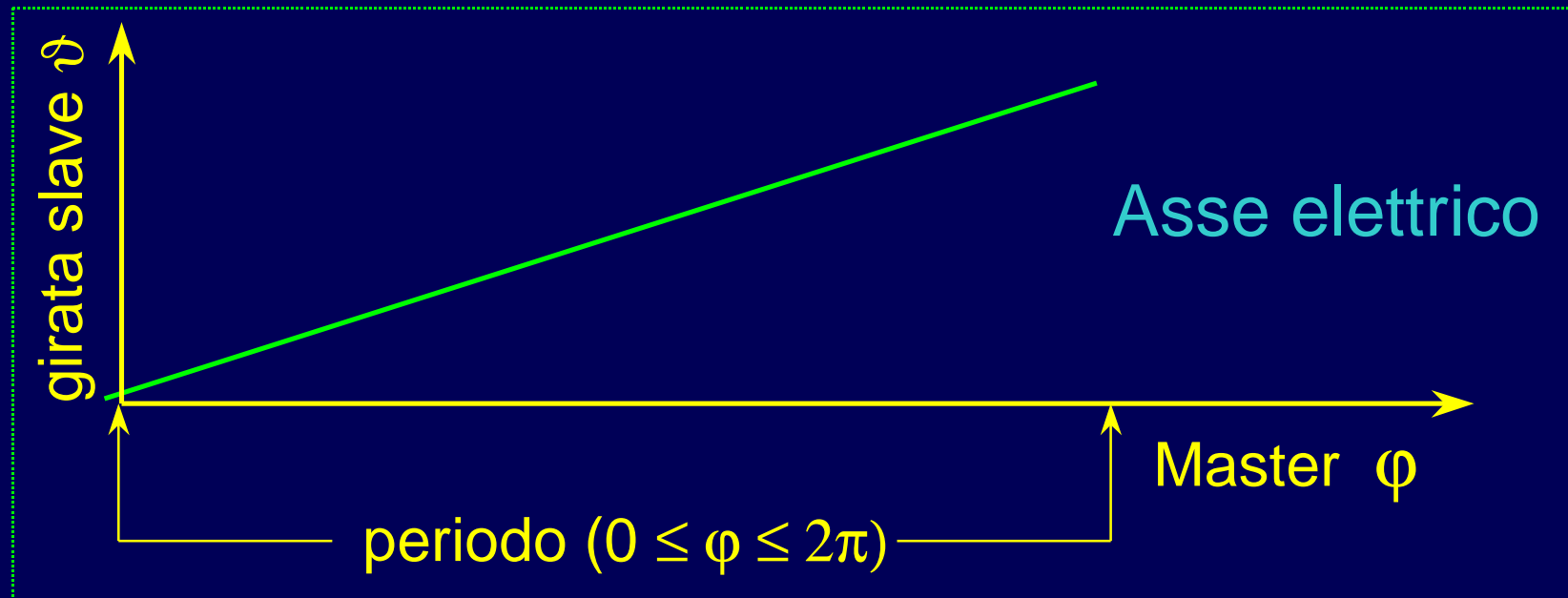
mostra le posizioni dell'asse slave in funzione di quelle dell'asse master

## Funzioni particolari





## Funzioni particolari



## Specifiche

Asse elettrico

### Sincronizzazione di piu' motori

- rapporti trasmissione  $\neq 1$
- a regime ed in transitorio
- presenza di coppie di carico impulsive elevate

### Deviazioni limitate di velocita'

- piccoli sfasamenti agli assi
- Tempi di recupero brevi

## Soluzioni

### Asse elettrico

- Azionamenti vettoriali con motore sincrono o asincrono + scheda assi specifica
  - sincronizzazione mediante il controllo
  - configurazione master/slave
  - sensore di posizione dell'asse master a tutti gli slave azionamenti ad elevata dinamica
  - azionamento comandato in coppia ed anelli di velocità implementati sul controllo assi

Camma elettrica

**Inseguimento di profili complessi di velocità ed accelerazione**

- **presenza di coppie di carico anche impulsive**
- **elevata precisione di inseguimento**

**Elevata dinamica**

**Sincronismo con altri moti**

## Soluzioni

### Camma elettrica

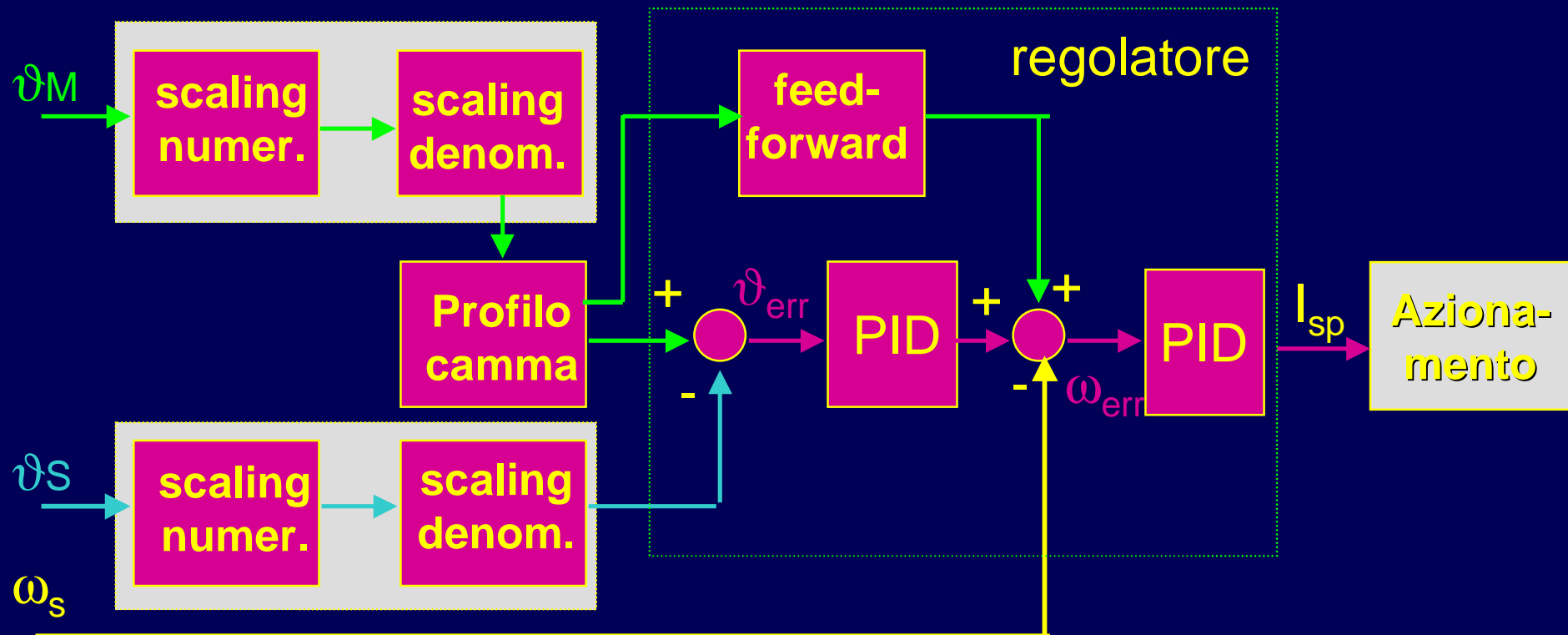
- **Azionamenti vettoriali con motori A.C.**
- **Controllo digitale con caratteristiche avanzate**
- **generazione sincronizzata dei profili di camma con tecniche polinomiali**
  - ➔ **nell'azionamento**
  - ➔ **nel controllo assi**
- **azionamento comandato in coppia ed anelli di velocità implementati sul controllo assi**

# Azionamenti per Automazione

## Soluzioni

Camma elettrica

Schema di controllo



## Specifiche

Eliminazione di riduttori  
meccanici

- **Motori in presa diretta**
- **Elevate coppie continuative da fermo o a bassa velocità**
- **Assenza di ripple di coppia durante il moto**
- **Elevata insensibilità alle coppie ed alle variazioni di momento di inerzia del carico**

## Soluzioni

Eliminazione di riduttori  
meccanici

### Uso di motori speciali

- standard A.C. ad elevato numero di poli
- a Riluttanza Variabile

### Azionamenti specifici

- elevate coppie a bassa velocità
- coppia da fermo e senza ripple
- elevata sensibilità nella misura della velocità
- algoritmi di controllo robusti alle coppie di carico ed alle variazioni di inerzia



# Confronto tra soluzioni e criteri di scelta

---

**Gli azionamenti con motori in c.a. sono destinati a soppiantare quelli con motori in c.c.**

## Attualmente

- ➔ **Sincrono in sostituzione di c.c. nei controlli assi e dove sono necessarie prestazioni dinamiche elevate**
  - gli azionamenti con motore a campo sinusoidale stanno sostituendo quelli a campo trapezoidale
- ➔ **Asincrono nei controlli a basse prestazioni dinamiche**
  - azionamento in catena aperta tipo INVERTER
- ➔ **c.c. nelle applicazioni a basso costo**

# Confronto tra soluzioni e criteri di scelta

---

## In prospettiva

### ■ elevata dinamica e precisione

- ➔ **sincrono sinusoidale**
  - dinamiche estreme
  - coppie fino a 25-30 Nm
- ➔ **asincrono con controllo vettoriale**
  - applicazioni generali
  - potenze elevate

### ■ basse prestazioni dinamiche

- ➔ **asincrono con INVERTER o controllo diretto di coppia**

# Azionamenti per assi - problemi termici

---

Per migliorare la risposta dinamica spesso si utilizza un convertitore sovradimensionato (in corrente) rispetto al motore

- il motore è in grado di smaltire il calore generato nel funzionamento ininterrotto alla massima potenza
- transitori effettuati con coppie superiori alla nominale (anche 4-6 volte) comportano riscaldamenti eccessivi
  - calcolo accurato dei cicli termici
    - metodi riportati nei manuali del costruttore
  - potenza efficace inferiore a quella nominale

# Azionamenti per assi - limitazione di corrente

---

**Il convertitore fornisce extracorrente per un tempo limitato**

## ■ due casi

- ➔ extracorrente per un tempo fisso
- ➔ extracorrente in funzione della potenza dissipata
  - tempo inversamente proporzionale al valore

## ■ il comportamento dinamico e la capacità di controllare le coppie di carico non sono costanti

- ➔ assi singoli
  - si può sfruttare l'extracorrente per ottimizzare i costi
- ➔ assi coordinati
  - per garantire il sincronismo è meglio evitare la saturazione di corrente

# Tipologie di controllo, applicazioni e motorizzazioni

---

## Variazione di velocità (senza retroazione)

### ■ ventole, pompe, trazione,..

- asincrono con Inverter o controllo diretto di coppia
- c.c. per le piccole potenze o la trazione

## Controllo di velocità (con retroazione)

### ■ tessile, mandrini, macchine automatiche rigide,..

- sincro sia trapezoidale che sinusoidale
- asincrono con Inverter, con controllo diretto di coppia o con controllo vettoriale
- passo-passo per piccole potenza
- c.c. per applicazioni a basso costo

# Tipologie di controllo, applicazioni e motorizzazioni

---

## Controllo di posizione ad asse singolo

- stampanti, posizionatori a singolo asse, semplici manipolatori,..

- sincrono e asincrono a controllo vettoriale
- passo-passo per piccole potenze

## Controllo multiasse coordinato (accelerazione, velocità, posizione)

- robot, macchine utensili, macchine automatiche flessibili,...

- sincrono, asincrono a controllo vettoriale
- motore coppia a riluttanza variabile in presa diretta

## Aree di potenza disponibili

- Collettore  $<10^6$  watt
- Asincrono  $<10^6$  watt
- Sincrono a MP  $< 10^5$  watt

## Caratteristiche generali

- tipo di motore
- potenza disponibile
- limitazioni di corrente

## Opzioni di controllo

- **dinamica assegnabile**
- **reversibilita'/frenatura**
- **sincronizzabilita'**
- **coppia da fermo/coppia max**
- **precisione/risoluzione/disturbi di carico sopportabili**
- **vincoli sulla dinamica**

## Tipo di controllo

- **velocita'**
- **posizione**
- **traiettoria ...**



# Caratteristiche dell' "ambiente operativo"

---

## Tipo di dinamica

- **profili di accelerazione /decelerazione**

## Precisione

- **errore statico**
- **errore dinamico**

## Tipo di carico

- **inerziale**
- **viscoso**
- **costante**
- **variabile**

# Caratteristiche dell' "ambiente operativo"

---

## Variabili accessibili per la misura

- corrente
- velocità
- posizione

## Ambiente operativo

- vapori infiammabili
- polveri ferromagnetiche
- umidità

## Azionamenti di coppia in presa diretta

### ■ Bassa velocità ed alta coppia nominali

- motori tradizionali in c.a. a molti poli
- motori speciali a riluttanza variabile
- motori asincroni in esecuzione speciale ed azionamento vettoriale

## Azionamenti di potenza ad alta velocità

- motori sincroni in esecuzione speciale
- motori asincroni con deflussaggio

## Motori lineari

- sincroni, asincroni, passo-passo, riluttanza variabile

# Considerazioni conclusive

---

- **Settore azionamenti in rapida evoluzione**
  - motori, amplificatori di potenza, architetture ed algoritmi di controllo
- **Disponibili o in avanzata fase di sviluppo soluzioni sofisticate di controllo del moto**
  - orientamento di campo, sincronizzazione di piu' assi, inseguimento preciso di riferimenti complessi di velocita'/posizione, elevate velocita'
- **Riduzione dei costi**
  - nuovi semiconduttori di potenza, allargamento del mercato, azionamenti digitali.
- **Aumento dell'affidabilita'**
  - intrinseca alle tecnologie utilizzate, sentita come esigenza dai costruttori

**Nuove soluzioni per la generazione del moto nelle macchine automatiche, nei robot e nelle linee di produzione richiede l'azione congiunta di progettisti meccanici, elettronici e di automazione**

**E' necessaria una nuova figura professionale che, integrando le competenze sopracitate, diventi il sistemista dell'Automazione**

# Azionamenti Elettrici

Parte 3

Azionamenti  
per il  
Controllo Assi  
FINE

**Prof. Alberto Tonielli**

DEIS - Università di Bologna

Tel. 051-6443024

E-mail: [atonielli@deis.unibo.it](mailto:atonielli@deis.unibo.it)