

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

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

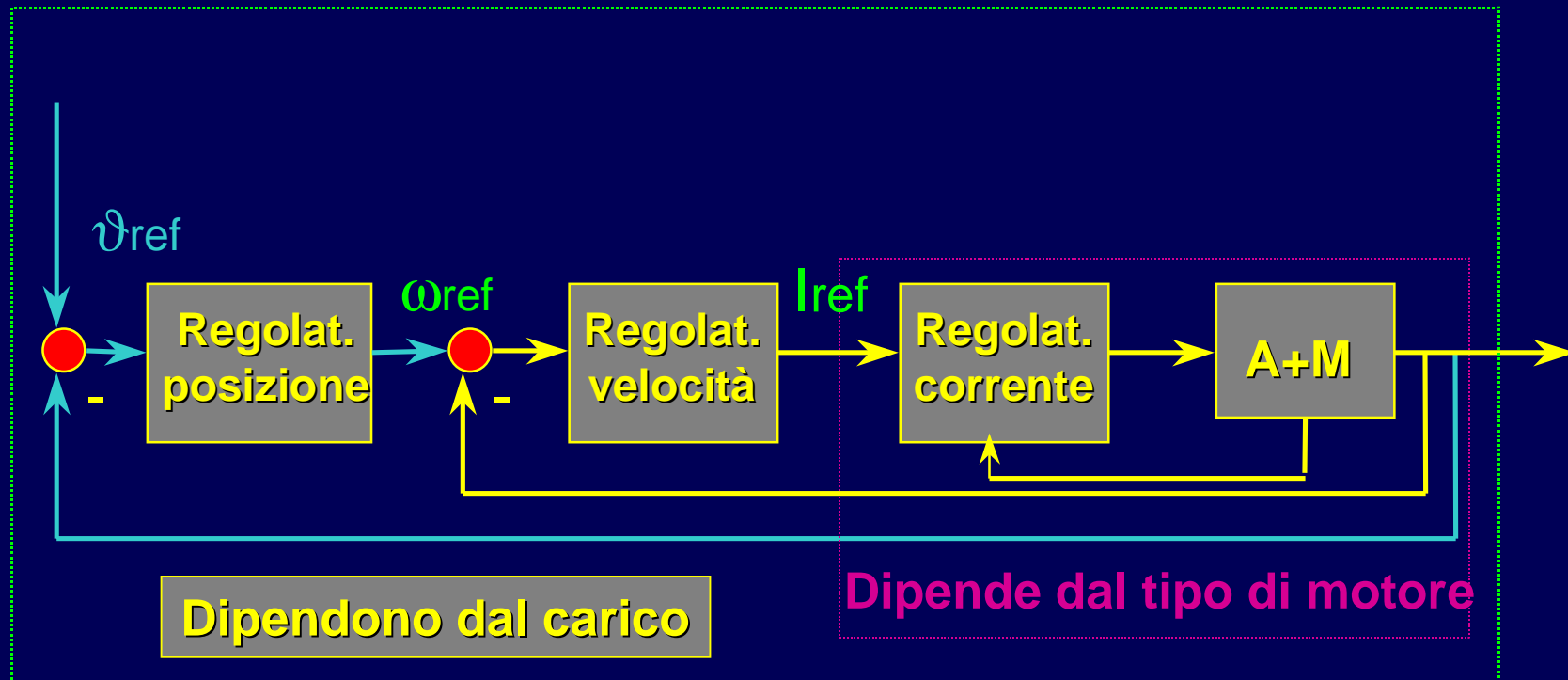
- **Azionamenti per il controllo assi**

■ 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

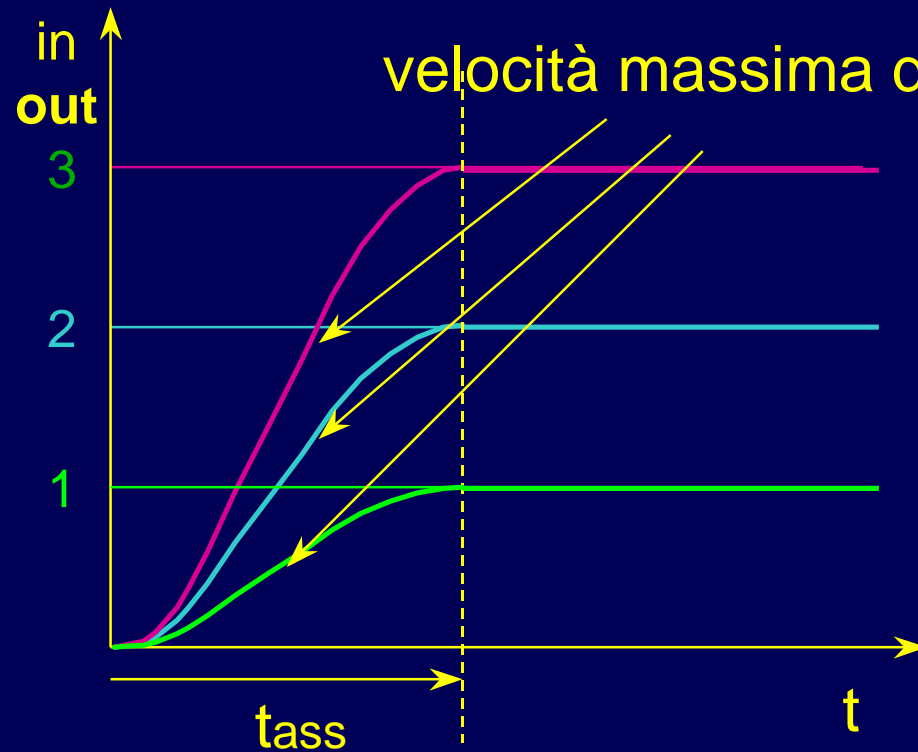
Schema di controllo di posizione in cascata



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

Controllo di posizione

Risposta di un sistema dinamico lineare

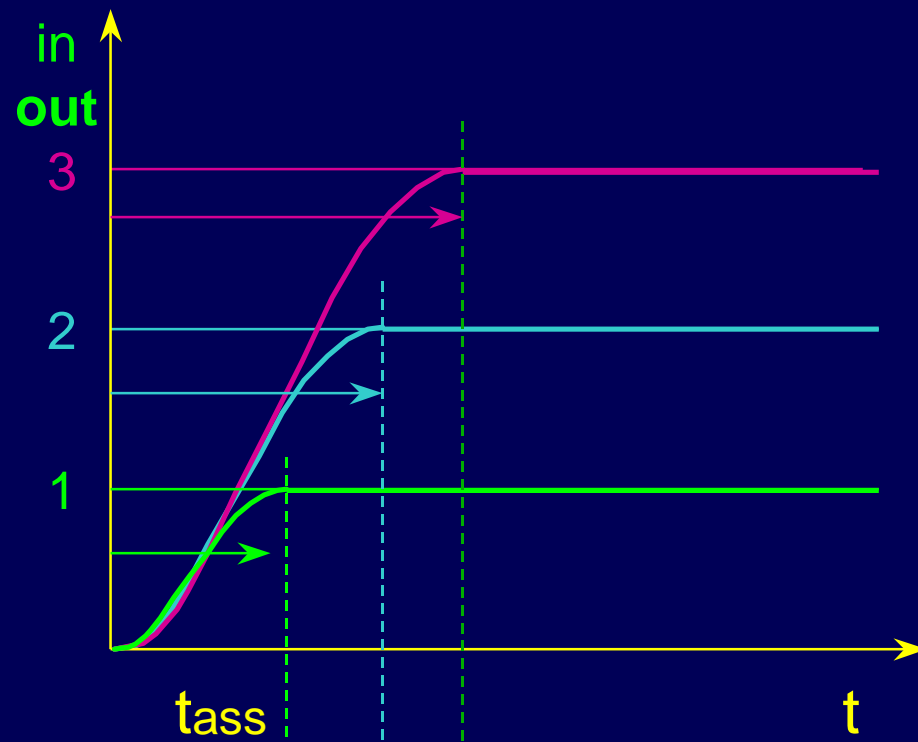


in presenza di vincoli sulla
velocità max (limiti di ten-
sione sull'amplificatore) il
guadagno va dimensionato
per lo spostamento massimo

gli altri spostamenti sono
inutilmente lenti

Controllo di posizione

Risposta di un sistema dinamico **non** lineare



- migliore sfruttamento dell'amplificatore

- tempi minimi di spostamento



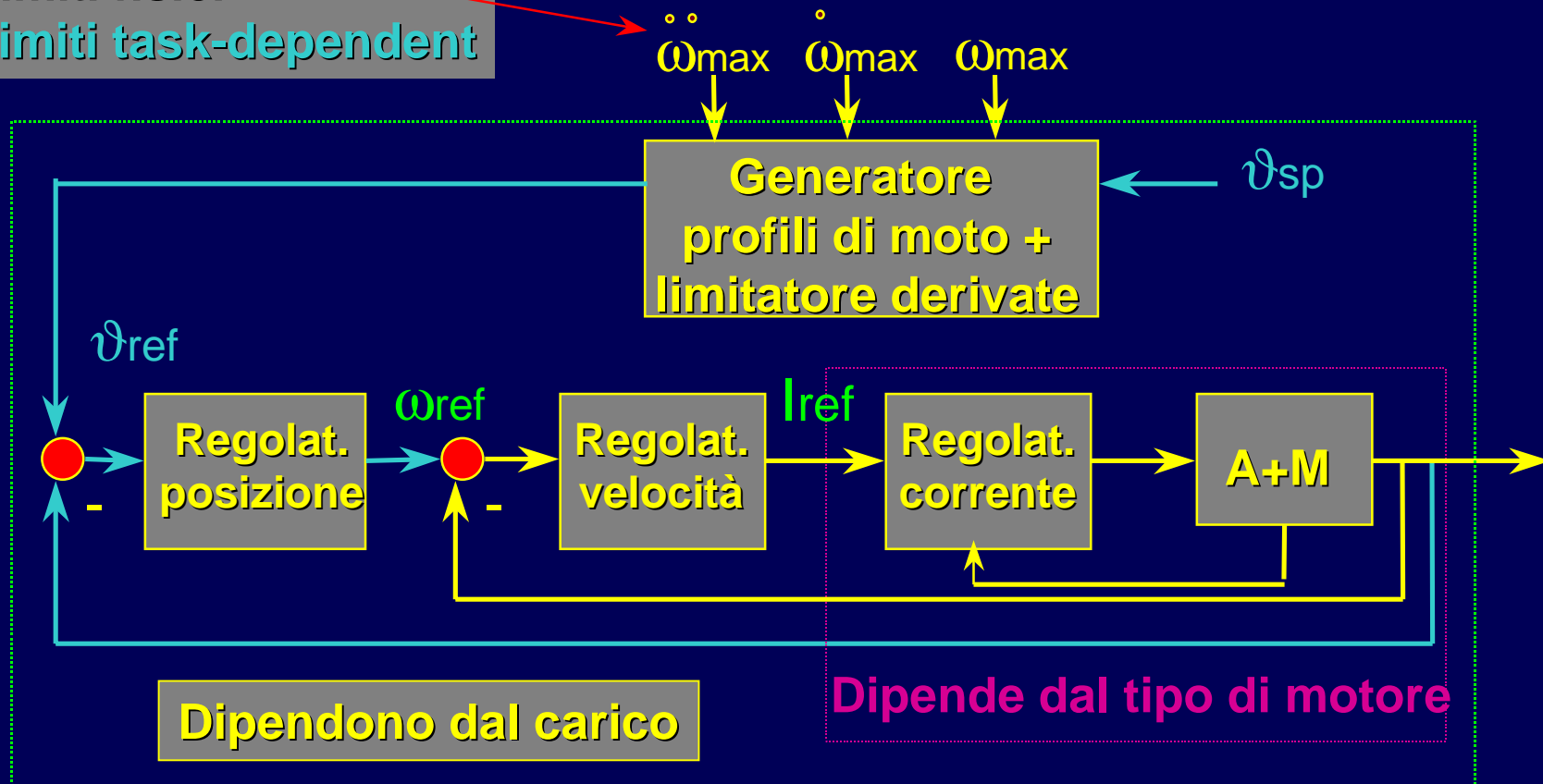
generazione non lineare dei riferimenti



di solito rampe

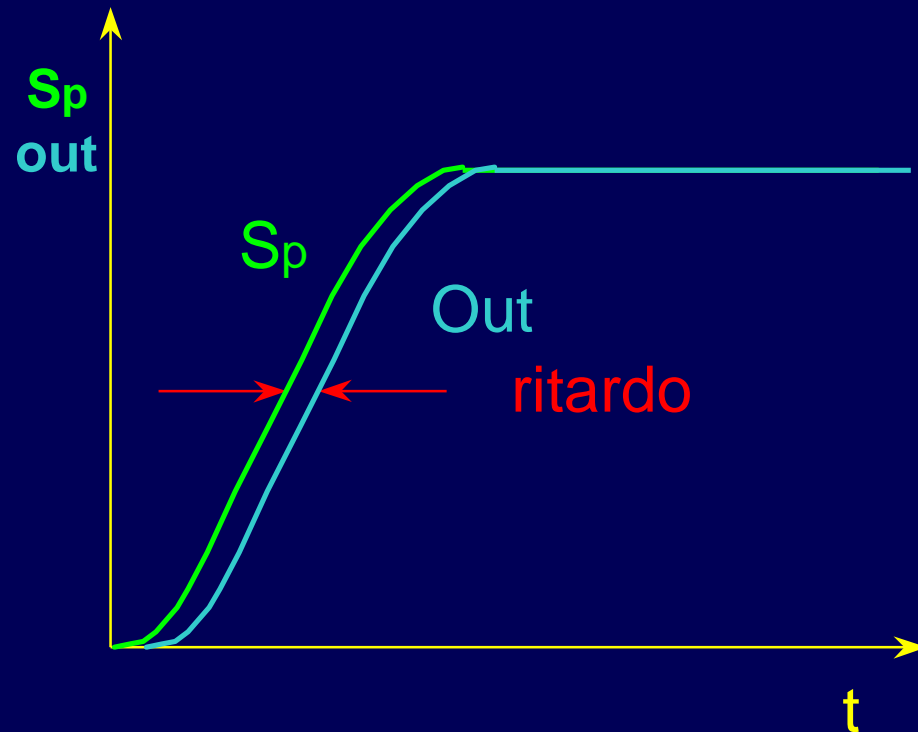
Schema di controllo in cascata

limiti fisici
limiti task-dependent



generazione non lineare del riferimento di posizione

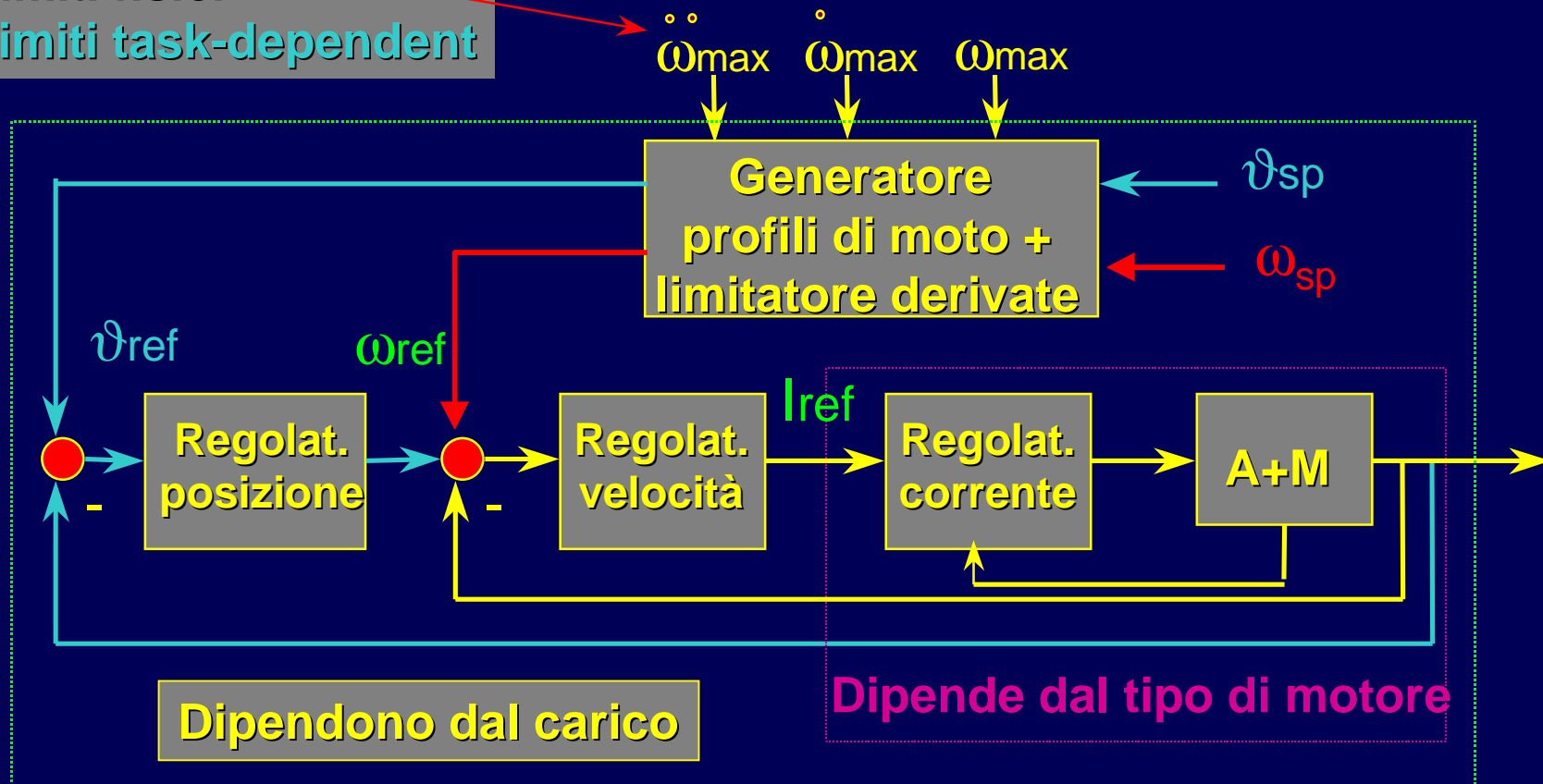
Risposta di un sistema di controllo in cascata



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

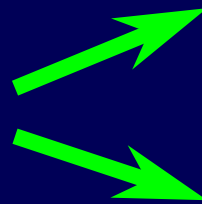
Azionamenti per automazione

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

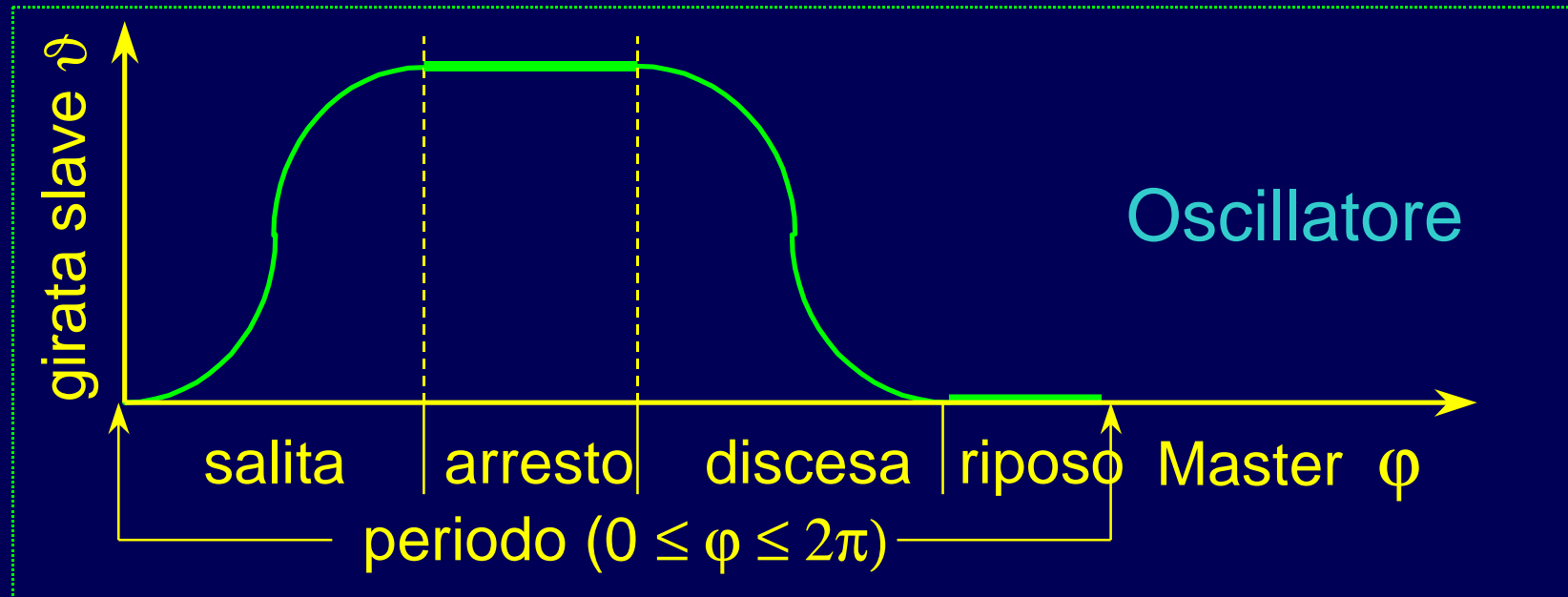
Camma meccanica

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

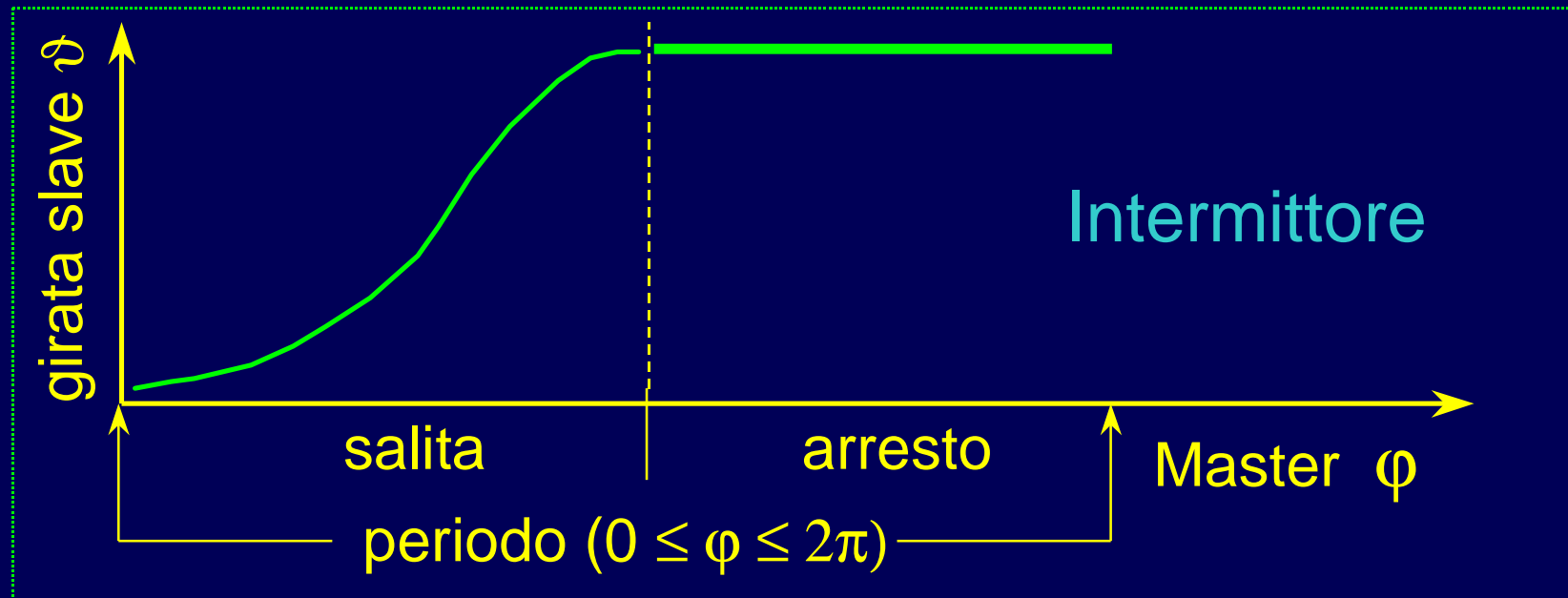
metodo di controllo di un azionamento per la generazione di moti periodici con precise relazioni di fase rispetto al movimento di un altro motore (Master) e con controllo delle accelerazioni

Diagramma delle girate

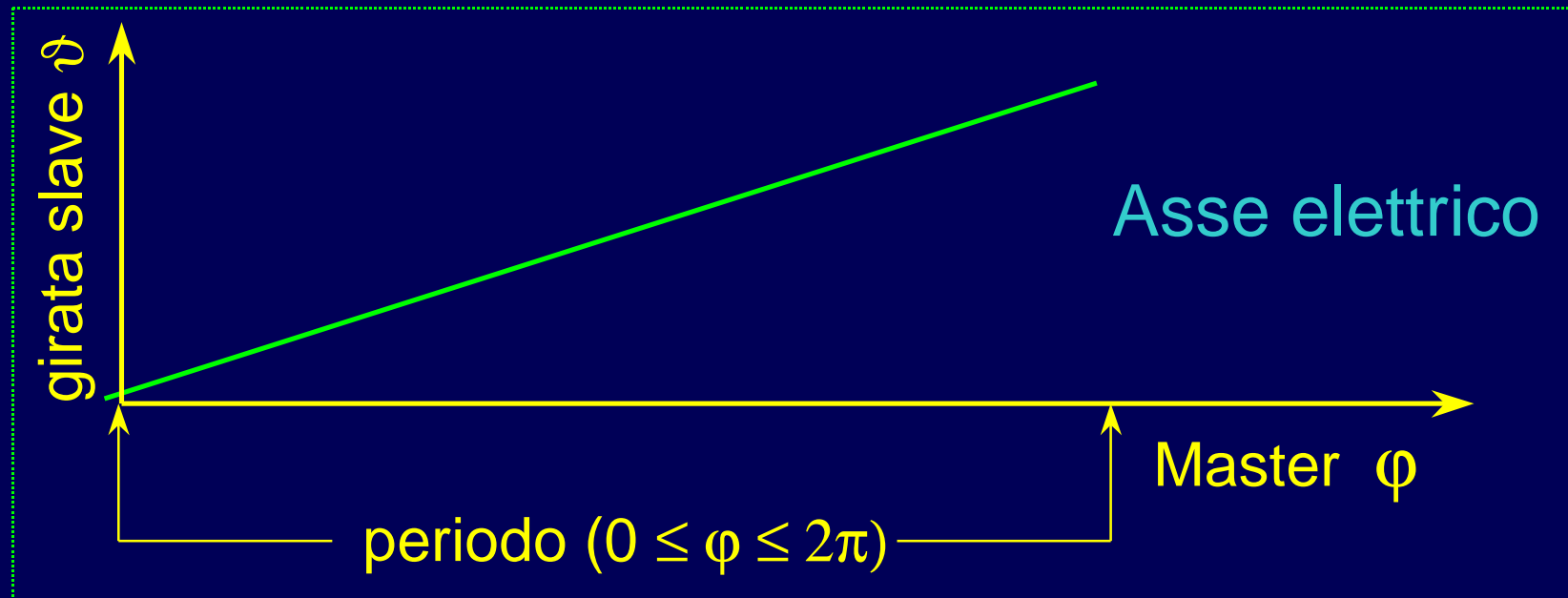


mostra le posizioni dell'asse slave in funzione di quelle dell'asse master

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

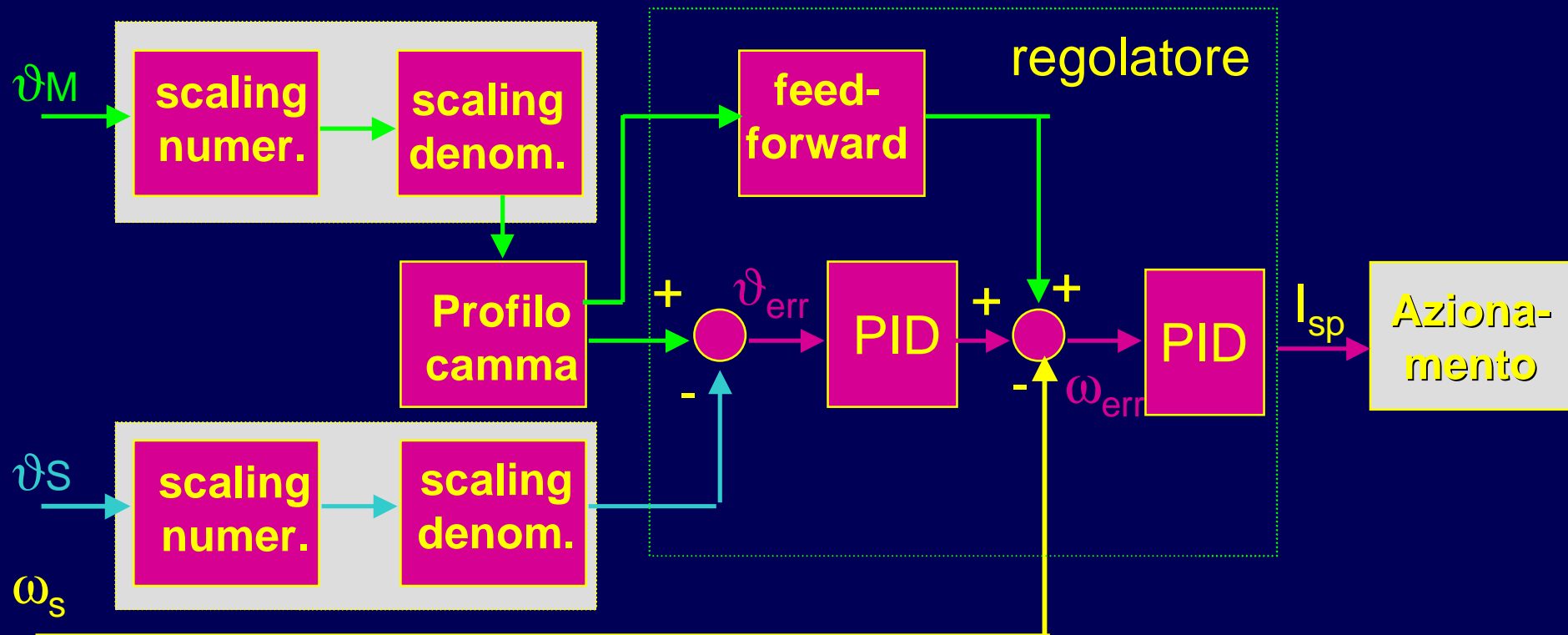
- **Azionamenti vettoriali con motori A.C.**
- **Controllo digitale con caratteristiche avanzate**
- **generazione sincronizzata dei profili di camma con tecniche polinomiali**
 - ➔ **nell'azionamento**
 - ➔ **nel controllo assi**
- **azionamento comandato in coppia ed anelli di velocità implementati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