



Controllo del moto e robotica industriale

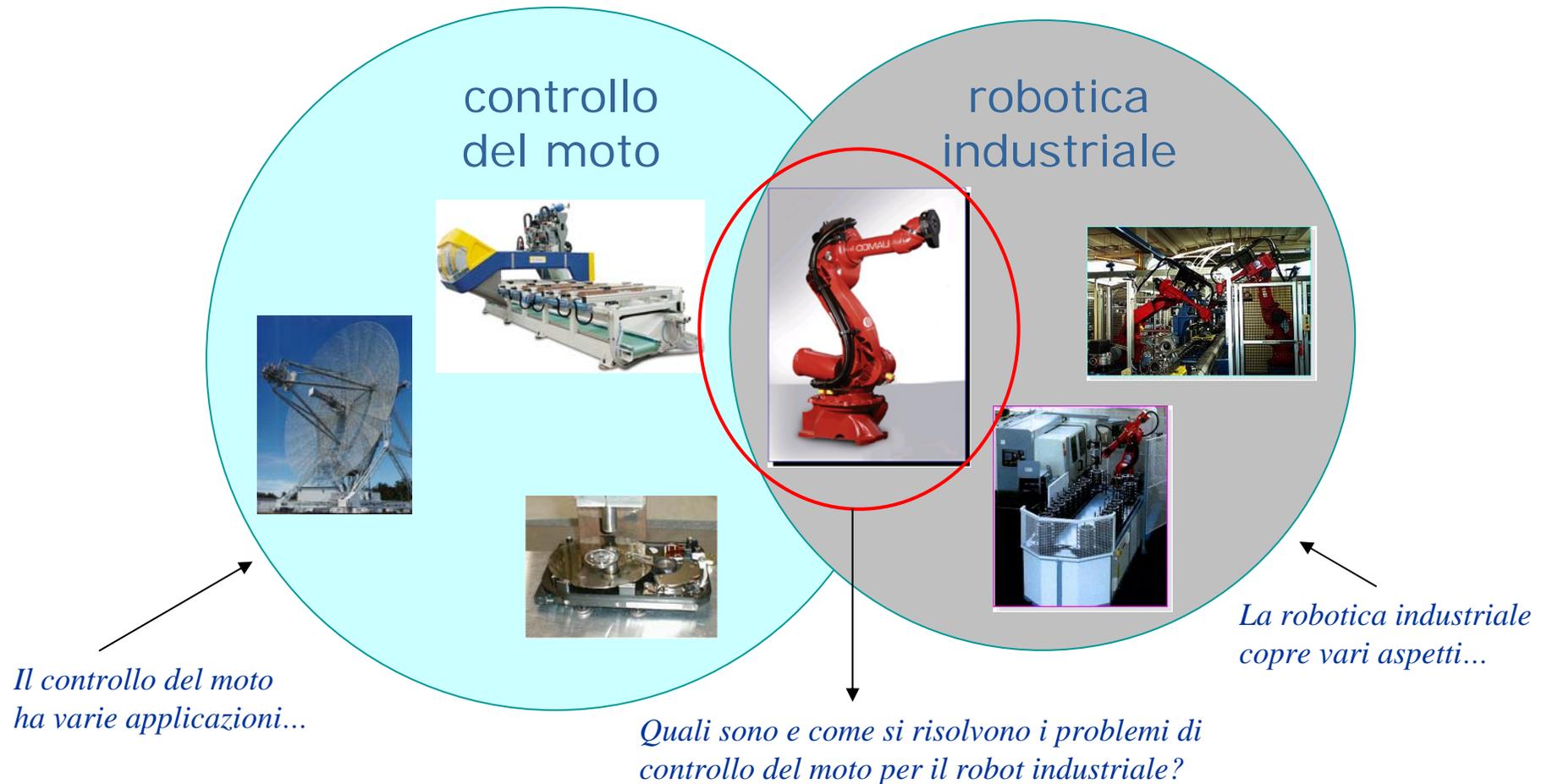
Introduzione al corso

Prof. Paolo Rocco (paolo.rocco@polimi.it)

Obiettivi del corso



Il corso si propone di affrontare problemi di **controllo del moto** relativi sia a singoli servomeccanismi, sia ad un **manipolatore robotico industriale** completo.



Il robot industriale



Il robot industriale si compone di:

**Struttura meccanica
con attuatori e sensori**



COMAU SpA

Unità di governo



COMAU SpA

Il sistema di controllo



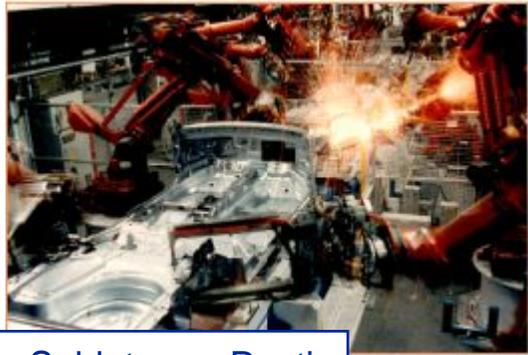
Il sistema di controllo di un robot è un prodotto molto complesso e sofisticato, che richiede tempi di sviluppo software elevati.

I suoi compiti principali sono i seguenti:

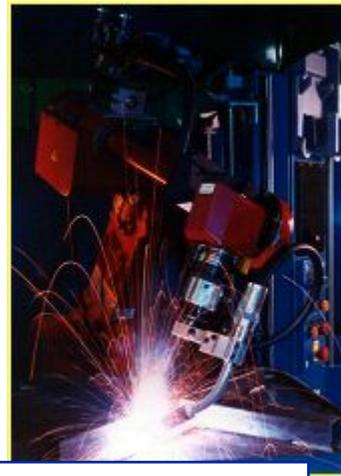
- Interfaccia con l'operatore (MMI)
- Pianificazione delle traiettorie
- Controllo in tempo reale del moto dei giunti
- Immagazzinamento dati
- Gestione dell'interazione con altre macchine
- Diagnostiche, gestione malfunzionamenti



Applicazioni tipiche (COMAU SpA)



Saldatura a Punti



Saldatura ad arco



Assemblaggio



Carico – Scarico
Macchine



Movimentazione



Automazione Linee
Interpresse



Sigillatura - Siliconatura



Lavorazione

Esempi di robot industriali



AdeptOne XL

- Struttura SCARA
- Quattro giunti
- Portata 12 Kg
- Ripetibilità: $0.025 \div 0.038$ mm

COMAU SMART S2

- Struttura antropomorfa
 - Sei giunti
 - Portata 16 Kg
 - Ripetibilità: 0.1 mm



Gli esempi sono tratti dal testo:
L.Sciavicco, B.Siciliano
Robotica industriale – Modellistica e
controllo di robot manipolatori (2a ed.)
Mc Graw-Hill, 2000

Esempi di robot industriali



ABB IRB 4400

- Struttura antropomorfa con parallelogramma
- Sei giunti
- Portata 60 Kg
- Ripetibilità: $0.07 \div 0.1$ mm

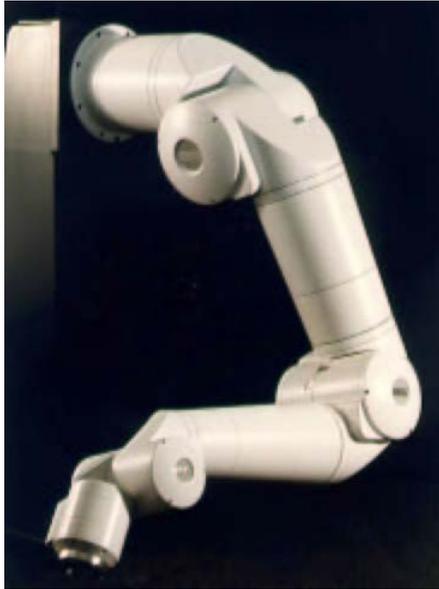
Unità lineare Kuka KL 250 con robot KR 15/2

- Struttura antropomorfa montata su slitta con installazione a portale
 - Sei giunti + giunto lineare
 - Portata 25 Kg
 - Ripetibilità: 0.1 mm



Gli esempi sono tratti dal testo:
L.Sciavicco, B.Siciliano
Robotica industriale – Modellistica e
controllo di robot manipolatori (2a ed.)
Mc Graw-Hill, 2000

Esempi di robot industriali



Robotics Research K-1207i

- Struttura antropomorfa
- Sette giunti
- Giunto addizionale rotoidale: aumenta destrezza e consente di ripiegare

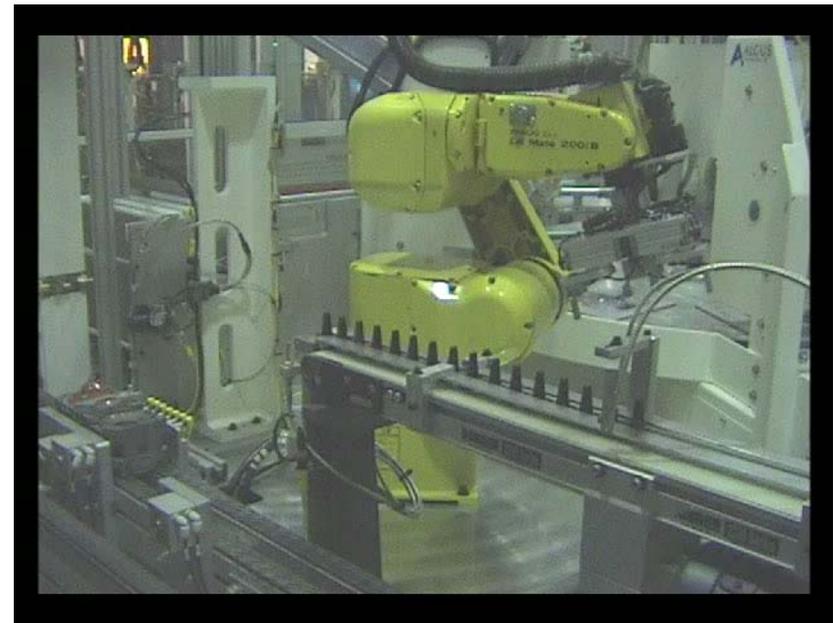
FANUC I-21i

- Struttura antropomorfa
 - Sei giunti
- Sensore di forza
- Sistema di visione 3D



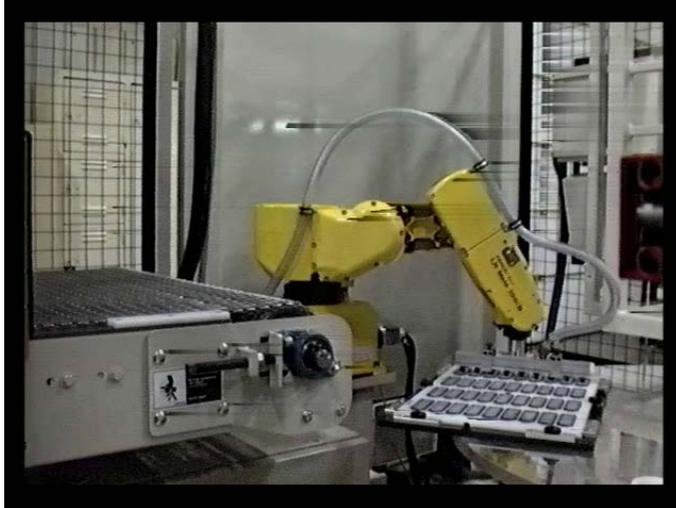
Gli esempi sono tratti dal testo:
L.Sciavicco, B.Siciliano
Robotica industriale – Modellistica e
controllo di robot manipolatori (2a ed.)
Mc Graw-Hill, 2000

Assemblaggio



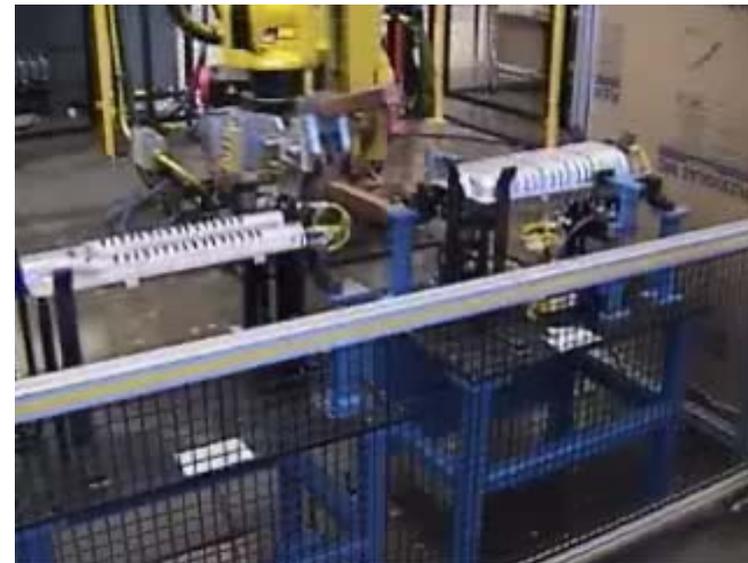
www.fanucrobotics.com

Carico-scarico



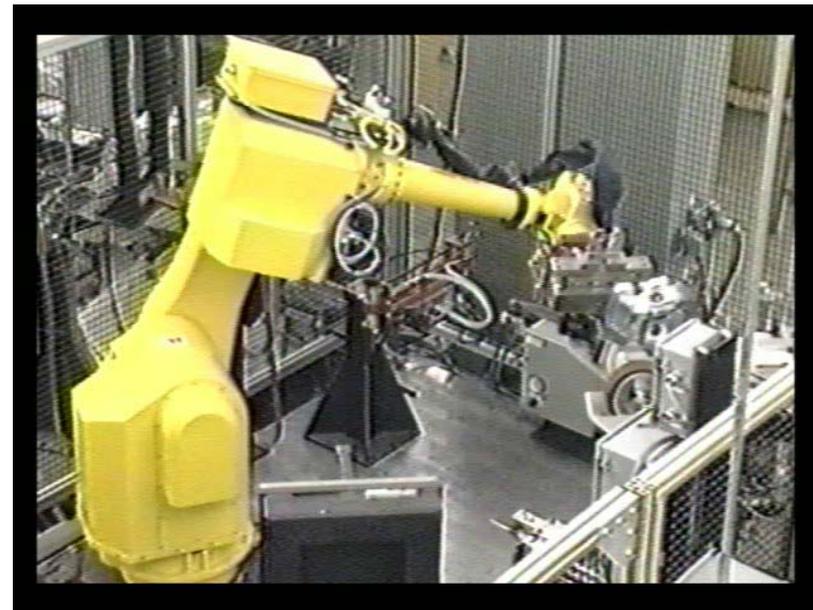
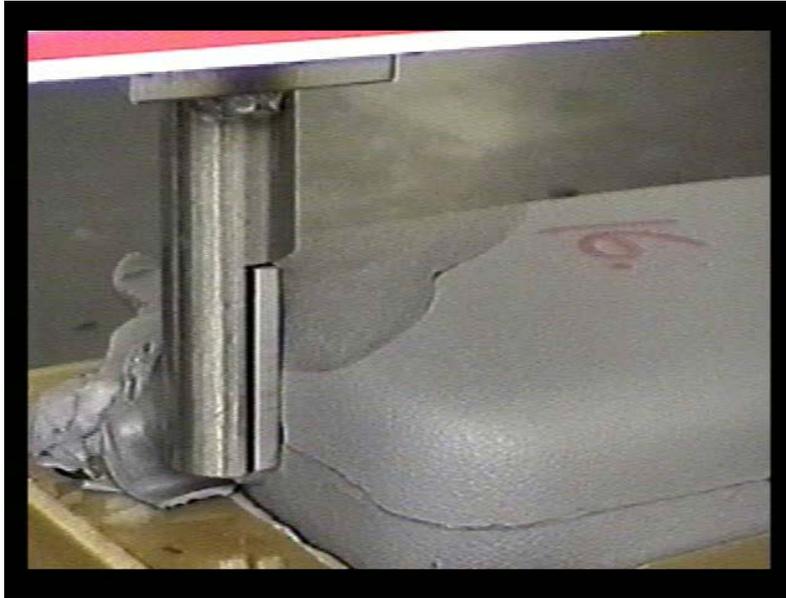
www.fanucrobotics.com

Saldatura



www.fanucrobotics.com

Lavorazione



www.fanucrobotics.com

Verniciatura - Sigillatura



www.fanucrobotics.com

Robotica di servizio



Robotica spaziale



www.space.gc.ca

Robotica umanoide



www.is.aist.go.jp/humanoid/

Argomenti del corso



- Richiami di cinematica
- Dinamica
- Pianificazione del moto
- Controllo decentralizzato di manipolatori
- Metodi avanzati di controllo del moto
- Controllo centralizzato
- Controllo dell'interazione e controllo servovisivo

Prerequisiti del corso



Che argomenti bisognerebbe conoscere prima di questo corso?

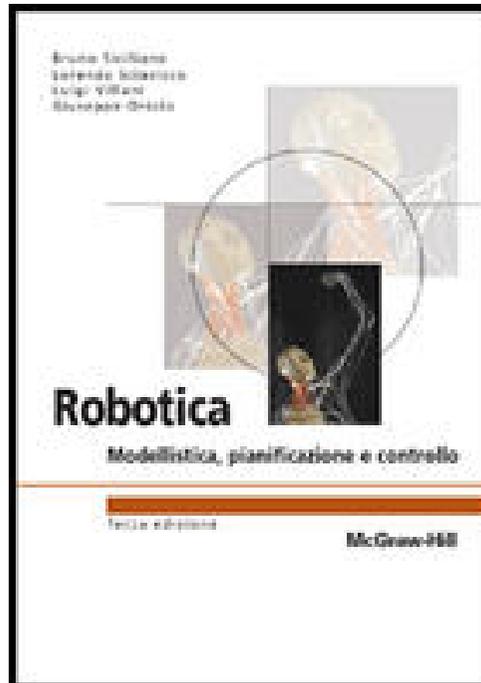
- Matrici di rotazione
- Rappresentazione dell'orientamento
- Matrici di trasformazione omogenea
- Convenzione di Denavit-Hartenberg



da “Fondamenti di robotica”

- Equazioni di Lagrange per la dinamica di sistemi meccanici
- Fondamenti di automatica
- Elementi di analisi di sistemi di controllo non lineari (metodo di Lyapunov)

I testi



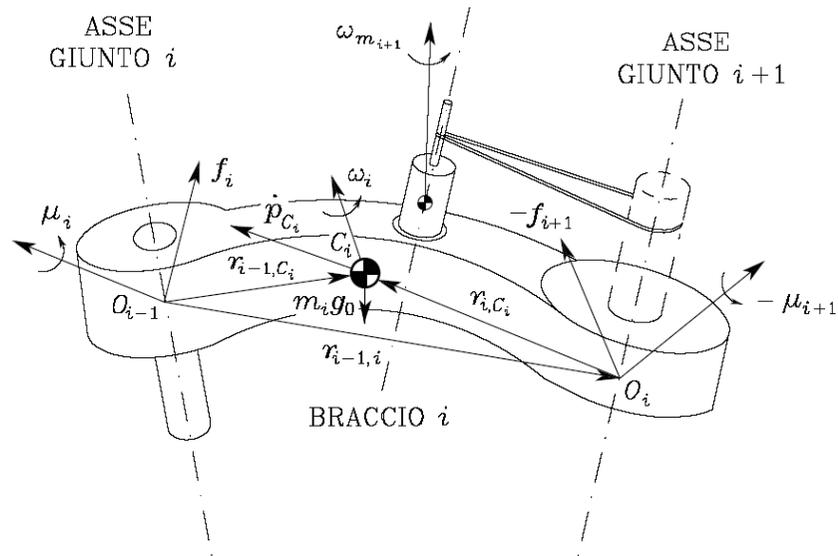
Sito web con materiale aggiuntivo:

home.dei.polimi.it/rocco/cmri

La dinamica



Studieremo in modo sistematico il modello dinamico del manipolatore:



L'immagine è tratta dal testo:
L.Sciavicco, B.Siciliano
Robotica industriale – Modellistica e controllo di robot manipolatori (2a ed.)
Mc Graw-Hill, 2000

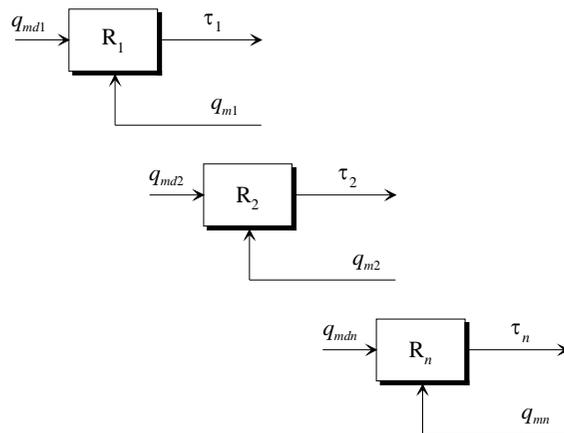
la cui conoscenza è indispensabile sia per la simulazione sia per il controllo con metodi avanzati (centralizzati).

Controllo del manipolatore

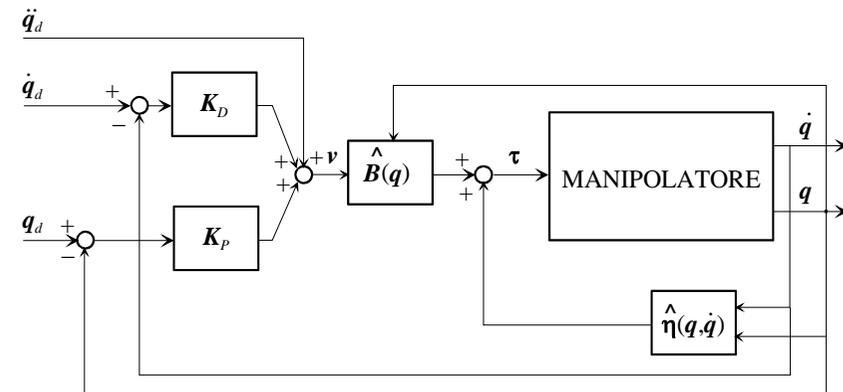


Il controllo del manipolatore si può affrontare in modo:

Decentralizzato



Centralizzato

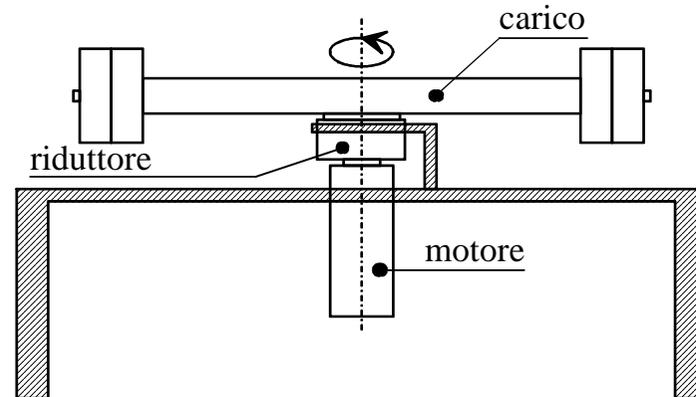


Con un controllo decentralizzato il problema si riconduce in realtà allo studio di n problemi di controllo monovariabili: problemi di controllo di servomeccanismi.

Il servomeccanismo



Un servomeccanismo di posizione è costituito essenzialmente da un motore, un riduttore ed un carico:



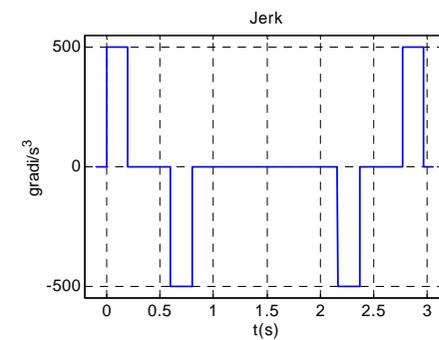
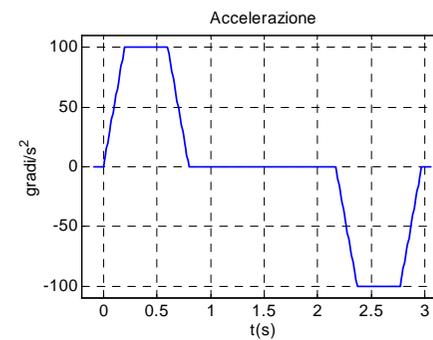
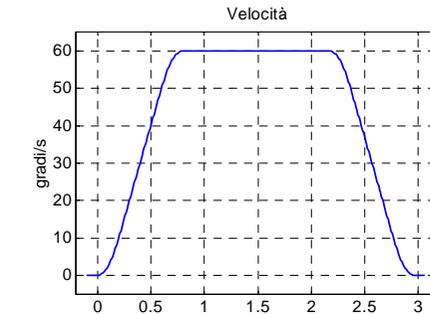
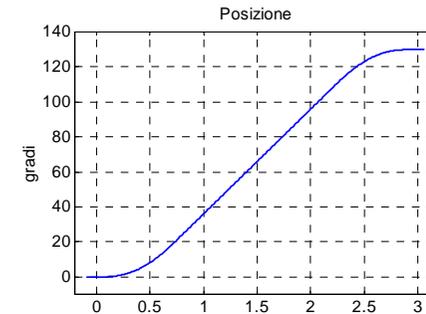
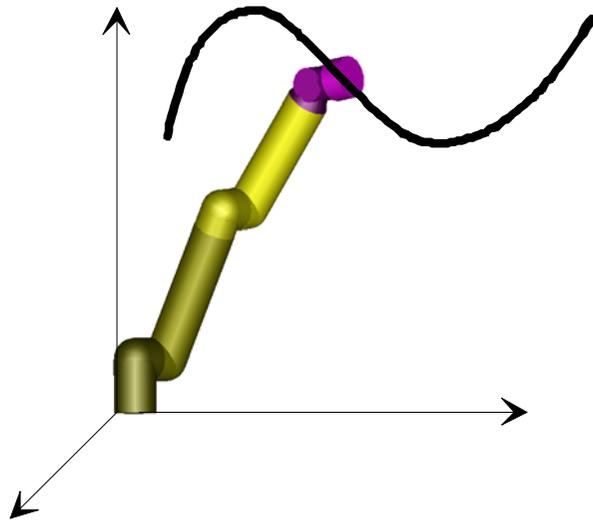
Il problema di controllo si pone nei termini di governare il moto del carico, modulando opportunamente la coppia erogata dal motore.

I servomeccanismi di posizione si trovano ovunque: robot, macchine utensili, macchine per lavorazione, macchine tessili, per il packaging, autoveicoli, aerei, periferiche di computer...

Controllo del servomeccanismo



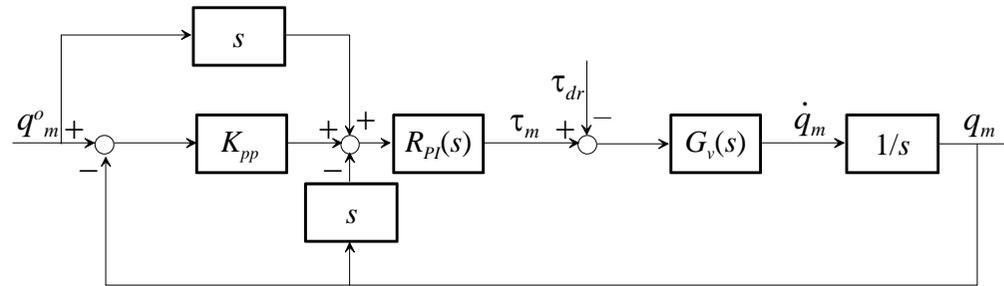
Vedremo come si pianifica una traiettoria:



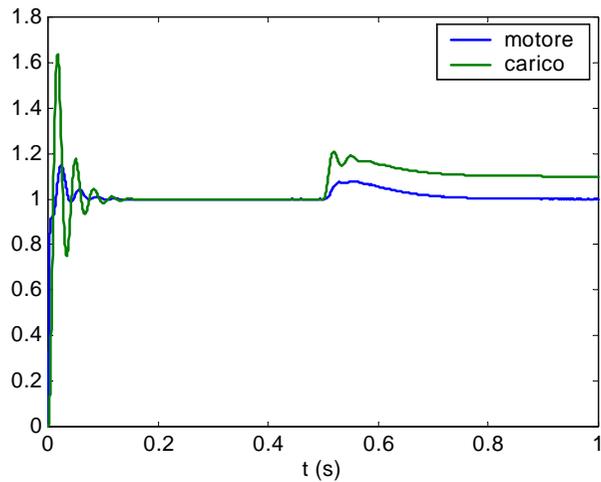
Controllo del servomeccanismo



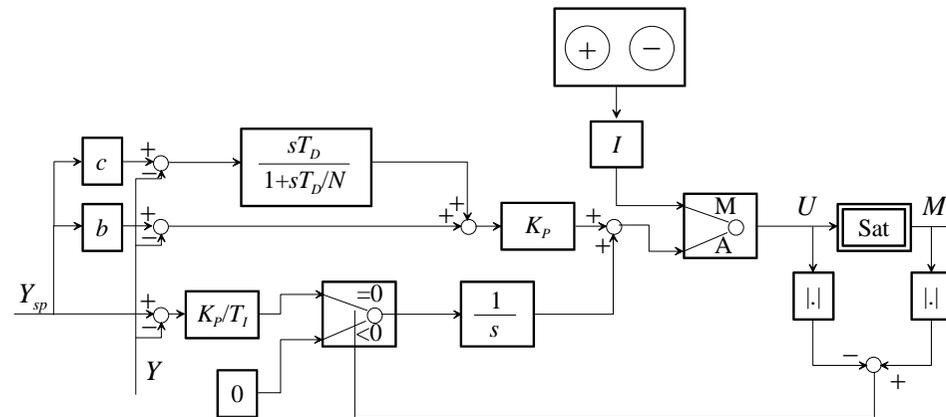
Studieremo le leggi di controllo più comuni (PID):



Metteremo in evidenza i limiti di prestazione indotti dalla elasticità:



Vedremo anche qualche aspetto realizzativo:

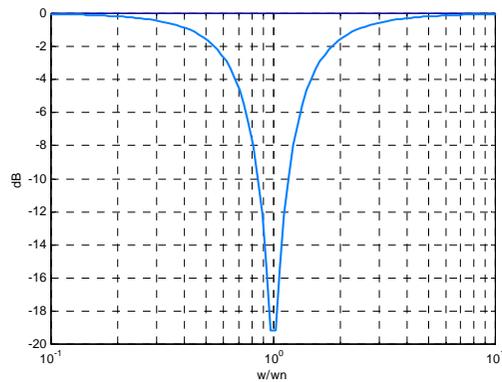


Controllo del servomeccanismo

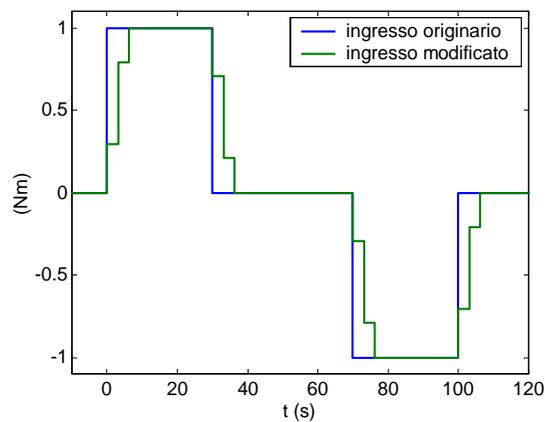


Passeremo in rassegna alcune tecniche avanzate di controllo

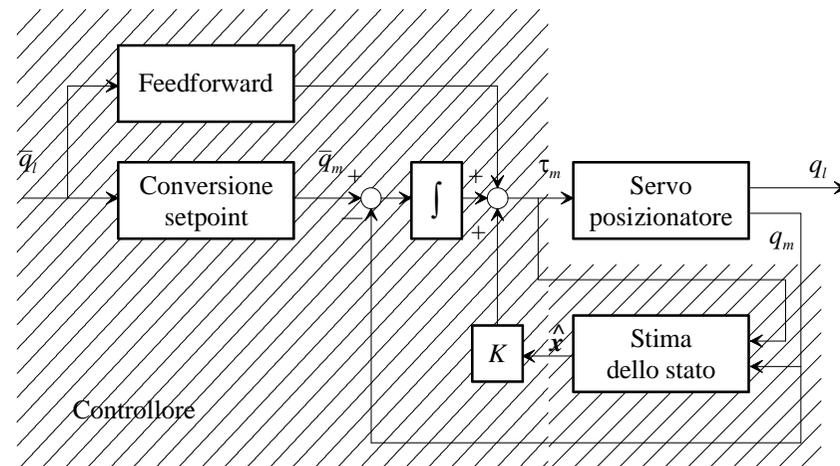
Filtri a spillo (notch)



Input shaping



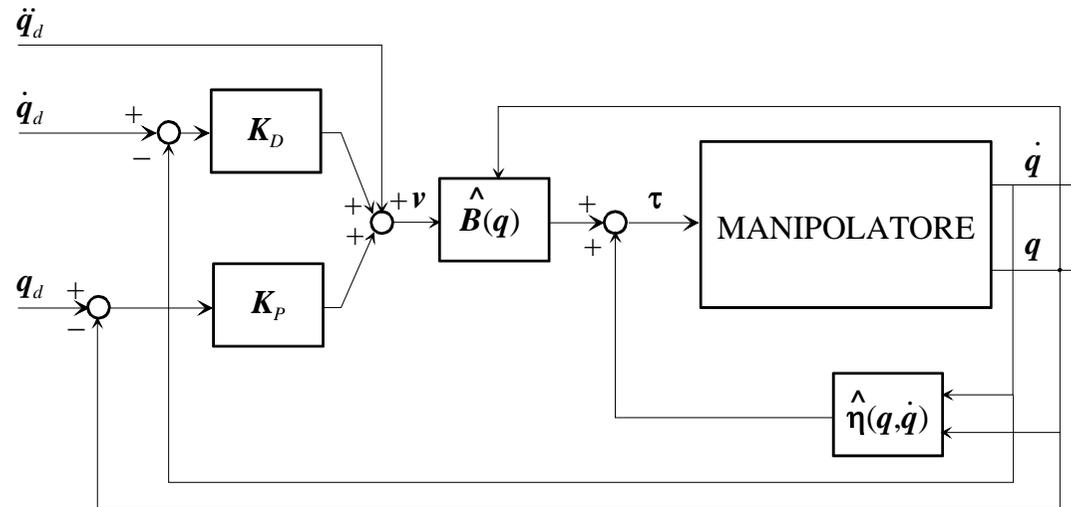
Controllo basato su pole placement



Controllo centralizzato



Studieremo tecniche di controllo del manipolatore basate sul modello:

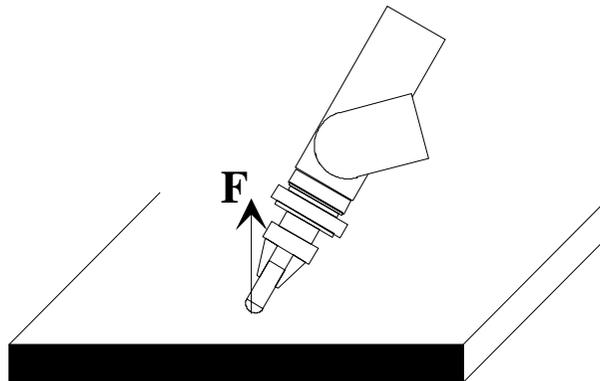


analizzando varianti robuste, adattative, concepite nello spazio operativo, ecc..

Controllo con sensori esterni



Studieremo strategie di controllo che tengano opportunamente conto delle forze che si generano al contatto.



Faremo anche dei cenni al controllo servo-visivo, eseguito sulla base delle immagini catturate da una telecamera