

*Università di Roma Tre*

## **Complementi di Controlli Automatici**

### **Introduzione al corso**

Prof. Giuseppe Oriolo

*DIS, Università di Roma "La Sapienza"*

## Organizzazione del corso

- le lezioni saranno tenute in parte da Marilena Vendittelli (venditt@dis.uniroma1.it) e in parte da Giuseppe Oriolo (oriolo@dis.uniroma1.it)
- II periodo didattico: dal 18 febbraio al 5 aprile 2008
- lezioni: ore 15:45–17:15, 4 giorni/settimana (lunedì–venerdì, tranne mercoledì), aula N7
- eventuali recuperi nel quinto giorno della settimana, con lo stesso orario
- ricevimento: giovedì, ore 14:00–16:00, presso il DIS, via Ariosto 25. Previo appuntamento, presso il DIA, via della Vasca Navale 79.
- sito web del corso: <http://www.dis.uniroma1.it/labrob/people/oriolo/rm3/cca/cca.htm>

## Modalità d'esame

- prova scritta e orale (discussione scritto)

## Obiettivi del corso

- fornire metodi avanzati per il progetto di controllori per processi multivariabili lineari e nonlineari
- illustrarne l'applicazione a sistemi di natura elettromeccanica

## Prerequisiti

- metodi basati su rappresentazioni con lo spazio di stato a tempo continuo
- concetti base di *Teoria dei Sistemi e Controlli Automatici*

stabilità, proprietà strutturali (raggiungibilità e osservabilità), decomposizioni canoniche (di Kalman), assegnazione degli autovalori mediante reazione dallo stato, osservatori asintotici dello stato, principio di separazione. . .

## Programma – 1

- **regolazione asintotica** dell'uscita per sistemi lineari MIMO
  - caso di informazione completa (reazione dallo stato e disturbi misurabili)
  - caso di reazione dal solo errore di uscita
  - principio del modello interno
  - confronto con i metodi classici basati su rappresentazioni ingresso-uscita (caso SISO)
  - cenni sulla costruzione di regolatori robusti
- **controllo del robot Pendubot**
  - cenni sulla modellistica delle strutture sottoattuate
  - stabilizzazione di configurazioni di equilibrio instabile

## Programma – 2

- **controllo di un robot flessibile**

- cenni sulla modellistica
- inseguimento di traiettorie per il tip mediante regolazione asintotica

- **teoria della stabilità**

- definizioni di stabilità secondo Lyapunov
- il metodo diretto di Lyapunov
- costruzione di funzioni di Lyapunov
- teoremi dell'insieme invariante
- il metodo indiretto di Lyapunov

## Programma – 3

- **stabilizzazione via retroazione dallo stato**

- stabilizzazione mediante approssimazione lineare
- cenni alla linearizzazione esatta via retroazione

- **controllo dei robot manipolatori**

- cenni sulla modellistica: il metodo di Eulero-Lagrange
- stabilizzazione di posizione (set-point) mediante il criterio di Lyapunov: controllori PD con compensazione della gravità, controllori PID
- set-point e tracking mediante linearizzazione esatta

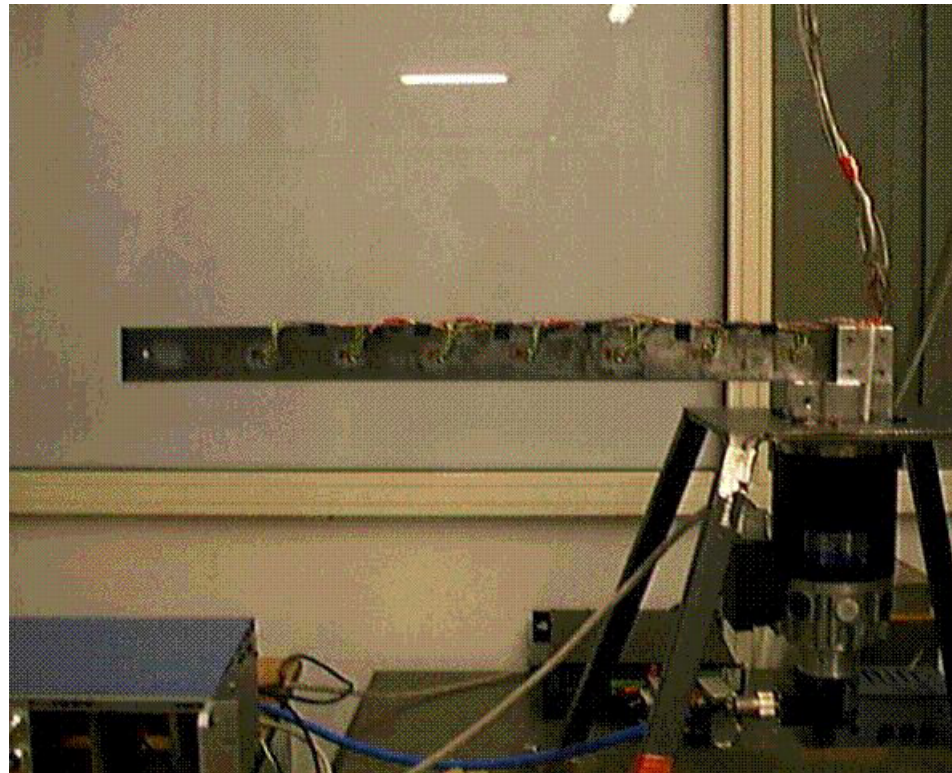
## Programma – 4

- **controllo dei robot mobili**

- vincoli anolonomi
- modellistica
- elementi di controllabilità e stabilizzabilità non lineare
- pianificazione del moto
- stabilizzazione di traiettoria

**alcuni esempi di applicazione delle tecniche studiate in questo corso** →

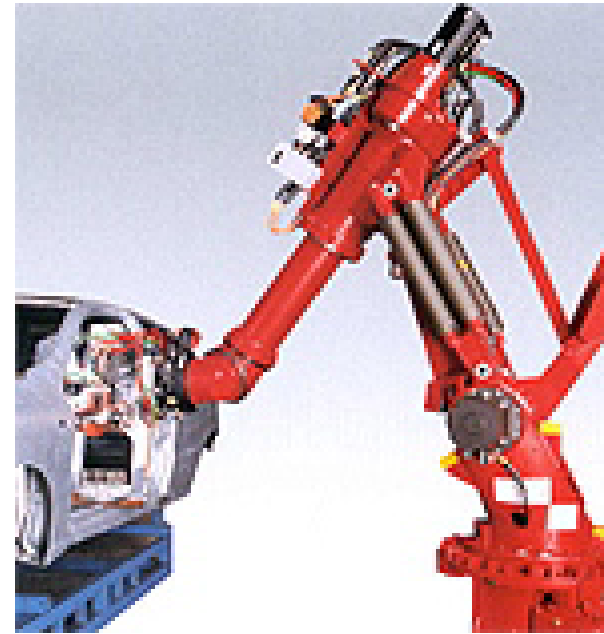
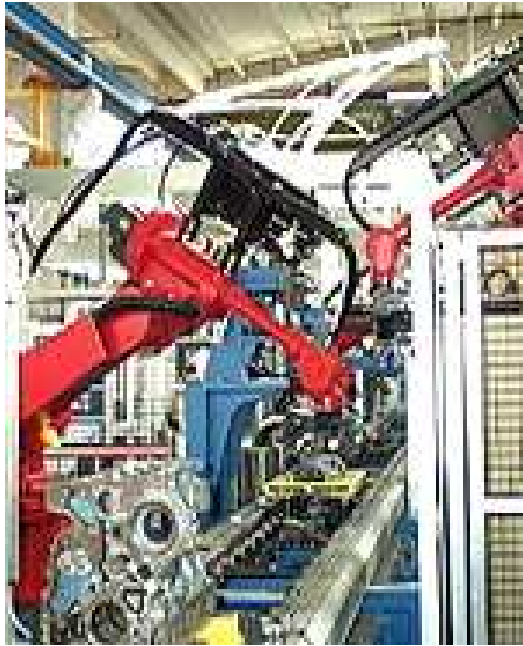
## Esempio di applicazione: Flexarm (singolo braccio robotico flessibile)



- sistema lineare **per piccole deformazioni**
- inseguimento di traiettoria **rest-to-rest** per il tip (uscita a fase non minima) mediante regolazione asintotica

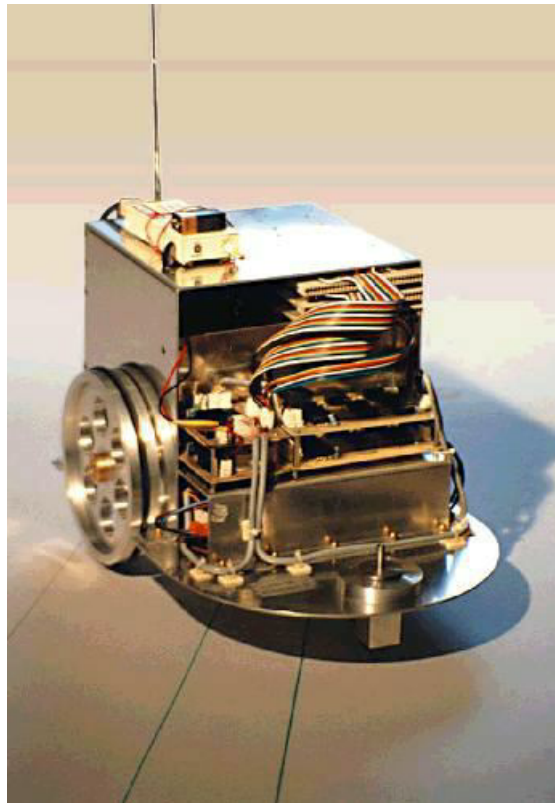


## Esempio di applicazione: Robot manipolatori industriali



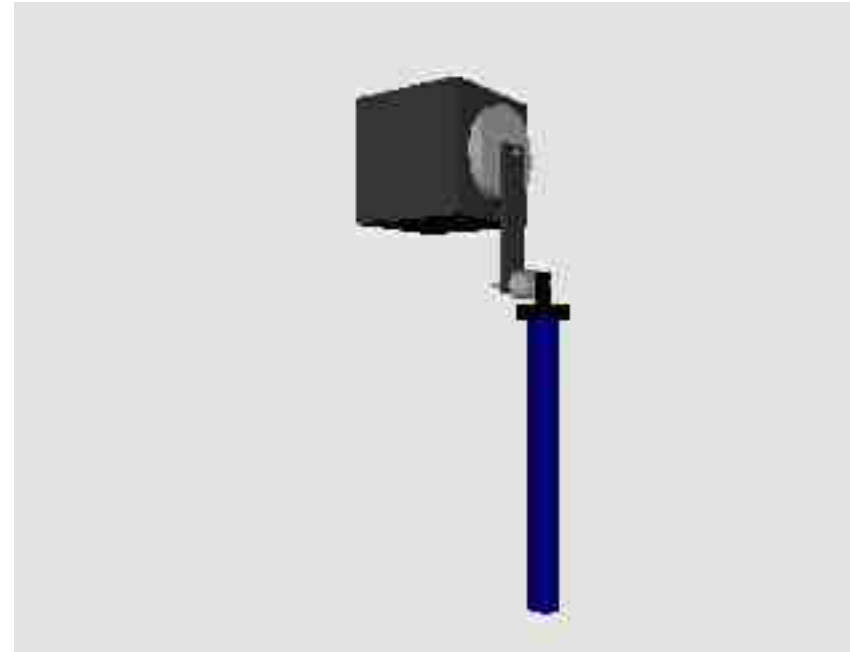
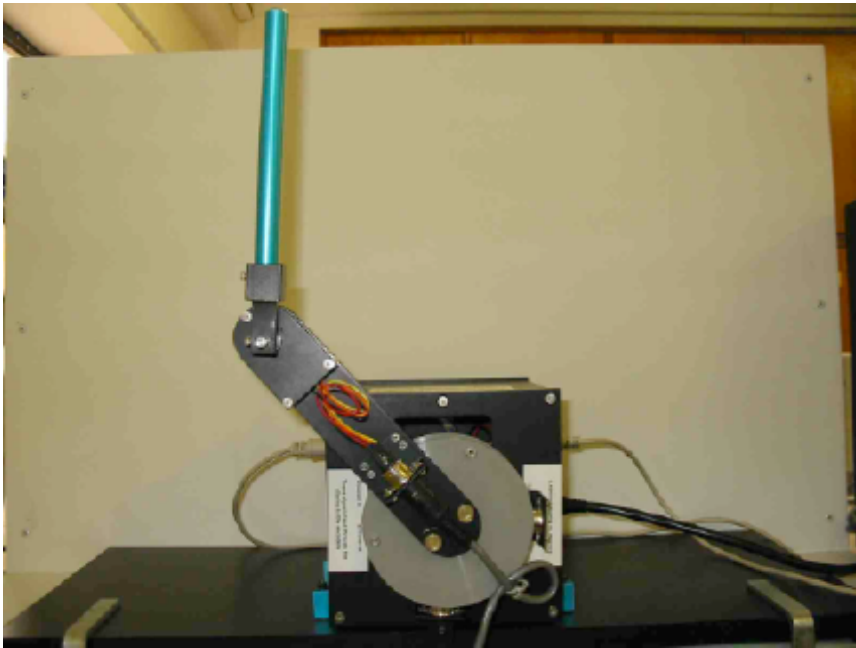
- dinamica **fortemente** non lineare
- stabilizzazione di posizione (**set-point**) mediante controllo PD con compensazione di gravità
- inseguimento di traiettoria (**tracking**) mediante linearizzazione via feedback

## Esempio di applicazione: Robot mobile SuperMARIO



- cinematica non lineare e **anolonoma**
- inseguimento di traiettorie **cartesiane** assegnate mediante controllori basati sul metodo di Lyapunov

## Esempio di applicazione: Pendubot



- sistema non lineare **sottoattuato** (un solo motore alla spalla)
- **inseguimento di traiettoria** sinusoidale dell'end-effector (uscita a fase non minima) mediante regolazione dell'uscita
- **swing-up** (trasferimento e stabilizzazione all'equilibrio inverso) mediante controllori basati sul metodo di Lyapunov

## Esperimenti illustrativi – 1

Flexarm: inseguimento di traiettoria rest-to-rest per l'end-effector

## Esperimenti illustrativi – 2

Pendubot: swing-up

## Esperimenti illustrativi – 3

Pendubot: inseguimento di traiettorie di uscita

## Esperimenti illustrativi – 4

SuperMARIO: inseguimento di una traiettoria cartesiana ‘ad otto’

## Testi di riferimento

- A. Isidori: *Sistemi di Controllo (Vol.II)*, 2a Edizione, Siderea
  - capitolo II (tutto)
  - appendice B.1
- A. Ruberti, A. Isidori: *Teoria della Stabilità*, Siderea
- H. K. Khalil: *Nonlinear Systems*, Prentice Hall
- A. Isidori: *Nonlinear Control Systems*, 3rd Edition, Springer Verlag  
[disponibili anche in biblioteca]

## Materiale didattico (sul sito internet del corso)

- slides delle lezioni
- files MATLAB/SIMULINK con vari esempi
- due brevi raccolte di esercizi e testi d'esame