



# UNIVERSITÀ DI PISA

---

## FONDAMENTI DI AUTOMATICA

**MANOLO GARABINI**

Anno accademico 2022/23  
CdS INGEGNERIA MECCANICA  
Codice 482II  
CFU 6

Moduli	Settore/i	Tipo	Ore	Docente/i
FONDAMENTI DI AUTOMATICA	ING-INF/04	LEZIONI	60	MANOLO GARABINI

### Obiettivi di apprendimento

#### *Conoscenze*

Il corso si propone di fornire agli allievi i fondamenti della teoria dei sistemi e del controllo necessari ai fini dell'analisi delle principali proprietà dei sistemi dinamici e del progetto di sistemi di controllo in grado di rendere il comportamento di un sistema dinamico dato conforme a specifiche di funzionamento.

In particolare gli allievi acquisiranno le seguenti conoscenze:

- sistemi dinamici e loro descrizione in termini di stati, ingressi e uscite
- proprietà dei sistemi dinamici: orine, stazionarietà, linearità, stabilità
- equilibri di un sistema dinamico non lineare
- sistemi dinamici lineari e loro descrizione nel dominio della frequenza
- diagrammi di Bode, Nyquist
- controllo in retroazione
- Luogo delle radici

#### *Modalità di verifica delle conoscenze*

La verifica delle conoscenze sarà oggetto della valutazione di una prova orale per ogni sessione d'esame

#### *Capacità*

- determinare gli equilibri di un sistema dinamico anche non lineare
- determinare il sistema dinamico linearizzato approssimato di un sistema dinamico non lineare attorno ad un suo equilibrio
- passare dalla rappresentazione matematica di un sistema dinamico nel dominio del tempo a quella nel dominio della frequenza
- determinare una rappresentazione matematica di un sistema dinamico da misure sperimentali date
- progettare un controllore che renda stabile un sistema dinamico instabile avvalendosi del luogo delle radici del sistema e con l'ausilio di software commerciali
- tradurre specifiche di funzionamento (es.: precisione a regime e tempo di assestamento) in requisiti nel dominio della frequenza
- progettare un controllore che faccia sì che un sistema dinamico stabile rispetti specifiche di funzionamento avvalendosi dei diagrammi di Bode e con l'ausilio di software commerciali

#### *Modalità di verifica delle capacità*

La verifica delle conoscenze sarà oggetto della valutazione di una prova orale per ogni sessione d'esame

#### *Comportamenti*

Lo studente potrà acquisire abilità analitiche utili nella determinazione delle principali proprietà dei sistemi dinamici.

Lo studente potrà acquisire abilità di problem solving utili nella sintesi di controllori

Lo studente potrà acquisire sensibilità utile nella traduzione delle specifiche funzionali in specifiche nel dominio della frequenza

#### *Modalità di verifica dei comportamenti*

La verifica delle conoscenze sarà oggetto della valutazione di una prova orale per ogni sessione d'esame

#### *Prerequisiti (conoscenze iniziali)*

Prerequisiti per una adeguata comprensione degli argomenti trattati sono:



## UNIVERSITÀ DI PISA

---

- fondamenti di analisi matematica
- fondamenti di geometria
- fondamenti di fisica

### Indicazioni metodologiche

Il corso è composto da didattica in modalità blended (in presenza trasmessa in streaming su piattaforma MS Teams), con ausilio di presentazioni multimediali e di calcolatori.

In aggiunta al materiale didattico, eventuale altro materiale multimediale sarà reso disponibile sul portale e-learning. La comunicazione con il docente avviene attraverso mail all'indirizzo [manolo.garabini@unipi.it](mailto:manolo.garabini@unipi.it).

### Programma (contenuti dell'insegnamento)

1. (3 h) lezione: Presentazione Docente. Introduzione al corso e modalità di esame. Esempio: massa puntiforme su binario soggetta all'azione di una forza. Problema: determinare la legge di controllo della forza per far sì che la massa raggiunga una posizione data. Soluzione del problema con due approcci: legge tempo dipendente, legge posizione/velocità dipendente. Discussione di vantaggi e svantaggi degli approcci presentati.
2. (2 h) lezione: Introduzione al concetto di sistema dinamico e di controllo, esempi di sistemi dinamici. Modelli di sistemi dinamici: equazioni differenziali ordinarie, forma normale, forma di stato (stato, ingresso, uscita). Esempi di modelli di sistemi dinamici.
3. (3 h) lezione: Proprietà dei sistemi: causalità, stazionarietà, linearità. Sistemi dinamici tempo continuo e tempo discreto, metodo di Eulero in avanti per discretizzare un sistema continuo. Soluzioni di equilibrio. Caratteristiche dei sistemi lineari. Forma di stato per sistemi lineari. Derivazione della forma di stato per il sistema massa molla smorzatore.
4. (2 h) lezione: Classificazione dei sistemi (MIMO, SISO). Forma canonica di controllo. Esempi per sistemi dinamici strettamente causali e causali. Linearizzazione Approssimata.
5. (3 h) lezione: Soluzione dei sistemi lineari: evoluzione libera ed evoluzione forzata. Definizione dell'esponenziale di matrice e sue proprietà. Esponenziale di matrice diagonalizzabile con autovalori reali e complessi. Esempi.
6. (2 h) lezione: Esponenziale di matrice difettiva con autovalori reali e con autovalori complessi. Analisi Modale. Introduzione al software MATLAB: command window, workspace, editor. Introduzione al software di Simulazione Simulink e blocco State Space. Esempi di comportamento di sistemi lineari con modi convergenti e divergenti.
7. (3 h) lezione: Definizione di stabilità. Esempio sistema non lineare, calcolo degli equilibri, linearizzazione, calcolo modi, stabilità. Trasformata di Laplace: definizione. Proprietà di linearità. Trasformata di funzioni notevoli: gradino, esponenziale, polinomio per esponenziale.
8. (2 h) lezione: Trasformata di funzioni notevoli: seno, coseno, polinomio per seno, trasformata dell'impulso. Proprietà delle trasformate: traslazione nel tempo, traslazione nella frequenza, trasformata del prodotto di convoluzione, trasformata della derivata, trasformata dell'integrale.
9. (3 h) lezione: Teorema del valore iniziale. Teorema del valore finale. Trasformata di Laplace: Riepilogo nozioni fondamentali. Applicazione della Trasformata di Laplace alla soluzione di equazioni differenziali ordinarie lineari. Esempio. Antitrasformata di Laplace. Metodo operativo per il calcolo dell'antitrasformata nel caso di trasformata polinomiale fratta con radici reali attraverso la scomposizione in fratti semplici.
10. (2 h) lezione: Funzione di Trasferimento, poli, zeri. Connessione di sistemi: serie, parallelo, retroazione. Esempi svolti con l'ausilio del software Matlab su calcolo autovalori, discussione stabilità, calcolo simbolico f.d.t. per i seguenti sistemi: massa puntiforme, massa-molla, massa-molla-smorzatore.
11. (3 h) lezione: Risposte forzate: risposta impulsiva, risposta al gradino, uso sperimentale della risposta al gradino, risposta al gradino per sistemi del primo e del secondo ordine. Tempo di assestamento e sovralongazione. Esempi svolti con l'ausilio del software MATLAB.
12. (2 h) esercitazione: Classificazione di sistemi. Derivazione della rappresentazione in forma da forma normale. Esercizi svolti su 6 modelli di sistemi dinamici. Calcolo degli Equilibri per sistemi lineari e nonlineari. Linearizzazione. Stabilità. Esercizi svolti: mappa logistica lineare e nonlineare, modello macroeconomico.
13. (3 h) esercitazione: Studio della Stabilità parametrica di un sistema lineare. Esercizi svolti: modello macroeconomico. Calcolo degli Equilibri per sistemi nonlineari. Linearizzazione. Studio della stabilità. Esercizio svolto: dinamica trasversale velivolo.
14. (2 h) esercitazione: Trasformata di Laplace e Risposte Forzate. Esercizi svolti: data la risposta impulsiva nel tempo determinare la risposta a gradino sia nel dominio complesso che nel tempo, dato un sistema in forma di stato calcolare la funzione di trasferimento, dato il sistema in forma normale calcolare la funzione di trasferimento, dato diagramma a blocchi e date le funzioni di trasferimento dei singoli blocchi calcolare la funzione di trasferimento globale, data funzione di trasferimento calcolare valore iniziale e di regime di risposta impulsiva e a gradino.
15. (3 h) lezione: Risposta ad ingressi esponenziali permanenti, risposta Armonica con dimostrazione teorema. Esercitazione su temi proposti dagli studenti.
16. (2 h) lezione: Diagrammi di Bode: introduzione, regole di composizione. Diagrammi asintotici di: guadagno, poli e zeri nell'origine con molteplicità  $k$ , diagrammi di poli e zeri reali, diagrammi di poli e zeri complessi. Definizione del concetto di risonanza. Sistemi Passa basso, passa alto e passa banda. Esempi.
17. (3 h) esercitazione: costruzione dei diagrammi di Bode
18. (2 h) lezione: Retroazione ed effetti della retroazione: robustezza alle variazioni parametriche, reiezione dei disturbi, errore di regime per riferimenti persistenti
19. (3 h) lezione: Tracciamento del diagramma di Nyquist e sugli effetti della retroazione. Criterio di Nyquist e margini di stabilità
20. (2 h) lezione: Introduzione alle specifiche di progetto del controllore. Specifiche statiche e dinamiche. Doppio anello di controllo per sistemi instabili. Approssimazione fdt in anello chiuso come sistema del primo e secondo ordine. Relazione con margine di fase dell'anello aperto.



## UNIVERSITÀ DI PISA

---

21. (3 h) lezione: Traduzione delle specifiche sull'anello chiuso nel tempo in specifiche sull'anello aperto nello spazio delle frequenze (per sistemi stabili in anello aperto).
22. (2 h) lezione: Luogo delle radici e suo utilizzo per progettazione controllore per sistemi instabili, esercitazione con software MATLAB (sisotool) per progettazione controllore per sistemi instabili.
23. (3 h) esercitazione: – Simulazione Esame
24. (2 h) esercitazione: – Simulazione Esame

### Bibliografia e materiale didattico

I seguenti testi ed appunti che trattano gli argomenti costituenti il programma sono consigliati agli allievi

- P. Bolzern, R. Scattolini, N. Schiavoni: "Fondamenti di Controlli Automatici", McGraw Hill
- D. Caporale, S. Strada, "Automatica - Raccolta di esercizi risolti, con appendice MATLAB", 2015, Pitagora, ISBN 88-371-1915-1
- A. Bicchi, "Appunti di Regolazione e Controllo", disponibili [qui](#)
- Temi d'esame precedenti svolti, disponibili [qui](#)

### Modalità d'esame

La verifica delle conoscenze e competenze acquisite dagli allievi durante il corso si avvale di una prova orale, in cui si interagisce con la commissione, atta a:

- discutere le scelte compiute dal candidato in fase di analisi dei sistemi e sintesi dei controllori
- stabilire se l'allievo possiede le nozioni necessarie
- verificare la piena comprensione del candidato degli argomenti costituenti il programma e la capacità di esposizione degli stessi con adeguata proprietà di linguaggio

La commissione determina il voto basandosi su tutti gli elementi raccolti durante la prova.

L'iscrizione all'esame avviene attraverso il sito di Ateneo.

*Ultimo aggiornamento 30/07/2022 09:59*