



# UNIVERSITÀ DI PISA

---

## AEROSPACE DYNAMIC SYSTEMS ANALYSIS

### GIANPIETRO DI RITO

Anno accademico	2023/24
CdS	INGEGNERIA AEROSPAZIALE
Codice	751II
CFU	6

Moduli	Settore/i	Tipo	Ore	Docente/i
AEROSPACE DYNAMIC SYSTEMS ANALYSIS	ING-IND/05	LEZIONI	60	GIANPIETRO DI RITO

#### Obiettivi di apprendimento

##### *Conoscenze*

Alla fine del Corso, lo studente sarà in possesso di un'approfondita conoscenza, sia teorica che pratica, delle tecniche più utilizzate nell'analisi dei sistemi dinamici Multiple-Input-Multiple-Output in "anello aperto" (teoria classica dei controlli, rappresentazione in spazio di stato, analisi nel dominio del tempo e nel dominio della frequenza). Lo studente maturerà specifiche conoscenze relative alla modellazione e la definizione delle caratteristiche di stabilità e prestazione di sistemi dinamici, con particolare attenzione a casi di applicazione aerospaziale. Lo studente acquisirà inoltre una conoscenza di base delle funzionalità del software Matlab-Simulink per l'analisi e la simulazione numerica di sistemi dinamici.

##### *Modalità di verifica delle conoscenze*

La verifica delle conoscenze acquisite sarà realizzata in occasione delle sessioni d'esame, prima mediante la valutazione di un elaborato scritto, in cui si richiede allo studente di risolvere alcuni tipici problemi di analisi di sistemi dinamici, e poi mediante un colloquio con il docente, nel corso del quale vengono in particolar modo valutate le conoscenze in ambito teorico e metodologico.

##### *Capacità*

Alla fine del Corso, lo studente avrà la capacità di:

- analizzare e ridurre problemi dinamici rappresentati da sistemi di equazioni differenziali ordinarie, mediante l'applicazione di tecniche di linearizzazione e concetti di separazione dei tempi di scala ("separazione in frequenza")
- sviluppare una rappresentazione in spazio di stato di un problema dinamico
- sviluppare diagrammi di simulazione sia per sistemi Lineari-Tempo-Invarianti (LTI) che per sistemi nonlineari
- determinare le funzioni di trasferimento di sistemi LTI
- valutare la stabilità interna ed esterna di sistemi dinamici
- valutare le prestazioni dinamiche di un sistema
- caratterizzare la dinamica di sistemi LTI "notevoli" (sistemi del prim'ordine, sistemi del second'ordine con e senza zeri, ecc.)
- modellare fenomeni nonlineari di tipo *on-off*

##### *Modalità di verifica delle capacità*

La verifica delle capacità acquisite sarà realizzata in occasione delle sessioni d'esame, prima mediante la valutazione di un elaborato scritto, in cui si richiede allo studente di risolvere alcuni tipici problemi di analisi di sistemi dinamici, e poi mediante un colloquio orale con il docente.

##### *Comportamenti*

Alla fine del Corso, lo studente potrà acquisire una specifica attitudine all'osservazione, la comprensione e lo studio di fenomeni dinamici, con particolare riferimento alle applicazioni d'interesse per l'ingegneria del controllo.

##### *Modalità di verifica dei comportamenti*

La verifica delle attitudini maturate dallo studente sarà realizzata in occasione delle sessioni d'esame, prima mediante la valutazione di un elaborato scritto, in cui si richiede allo studente di risolvere alcuni tipici problemi di analisi di sistemi dinamici, e poi mediante un colloquio orale con il docente.



## UNIVERSITÀ DI PISA

### Prerequisiti (conoscenze iniziali)

Per uno studio proficuo ed efficace degli argomenti trattati nel corso, lo studente dovrà essere in possesso di solide conoscenze/capacità nei campi dell'analisi matematica e dell'algebra lineare, e potrà inoltre beneficiare di eventuali abilità informatiche o esperienze di laboratorio con attività di raccolta/analisi misure, svolte precedentemente all'inizio del corso.

### Indicazioni metodologiche

Il corso si svolge mediante lezioni frontali, con ausilio di slides. Le esercitazioni vengono svolte in aula mediante la soluzione di problemi tipici, alla lavagna da parte del docente e con il coinvolgimento diretto degli studenti. Sono inoltre previste una serie di esercitazioni in laboratorio informatico, in cui gli studenti vengono organizzati in coppie e ad ogni coppia viene assegnato un PC del laboratorio, in modo da utilizzare, in modo interattivo, codici e strumenti Matlab-Simulink per la modellazione, l'analisi e la simulazione numerica di sistemi dinamici.

Il sito elearning del corso è utilizzato per le comunicazioni docente/studenti e per consentire agli studenti di scaricare tutti i materiali didattici (slides, codici Matlab, modelli Simulink, esercizi e soluzioni). Il sito è inoltre utilizzato per la pubblicazione delle soluzioni delle prove scritte d'esame.

L'interazione docente-studenti è realizzata fissando un orario di ricevimento per i colloqui con il docente, e viene anche data la disponibilità di fissare appuntamenti specifici previo contatto mediante posta elettronica.

Il corso è interamente svolto in lingua inglese.

### Programma (contenuti dell'insegnamento)

Il corso mira a fornire una conoscenza approfondita delle tecniche per la modellazione, l'analisi e la caratterizzazione di stabilità/prestazioni di sistemi dinamici "in anello aperto". Vengono illustrate le tecniche di linearizzazione di sistemi rappresentati da problemi ODE, la teoria classica dei controlli (trasformata di Laplace e funzioni di trasferimento) e le rappresentazioni in spazio di stato, con un'attenzione particolare a casi di applicazione aerospaziale. Una parte del corso è inoltre dedicata all'uso di Matlab-Simulink per l'analisi e la simulazione numerica di sistemi dinamici. I principali argomenti trattati nel corso sono:

- Introduzione ai sistemi dinamici controllati in retroazione
  - Esempi di applicazione
  - Architettura e principali elementi di un sistema controllato in retroazione
  - Definizione del problema del controllo
- Proprietà fondamentali dei sistemi dinamici (concetti di stato e variabili di stato, causalità, linearità, tempo-invarianza)
- Risposta di un sistema lineare mediante integrale di convoluzione
- Linearizzazione di un sistema
  - Definizione di punto di equilibrio
  - Linearizzazione nell'intorno del punto di equilibrio (principio delle piccole perturbazioni)
- Trasformata di Laplace
  - Definizione e proprietà
  - Trasformata inversa di Laplace
  - Trasformata di Laplace di funzioni notevoli
  - Trasformata di Laplace di funzioni con operatori matematici (derivata, integrale, convoluzione, time-shift)
- Analisi di sistemi LTI mediante la trasformata di Laplace
  - Concetto di funzione di trasferimento
  - Decomposizione in fratte semplici
  - Teorema del valore finale
  - Teorema del valore iniziale
- Caratterizzazione della risposta di sistemi notevoli LTI SISO
  - Risposta di un sistema del prim'ordine
  - Risposta di un sistema del second'ordine
  - Effetto di uno zero nella risposta di un sistema del second'ordine
  - Risposta di un sistema biproprio del prim'ordine
  - Risposta di un sistema del terz'ordine
  - Modellazione del time-shift mediante approssimazione di Padé
- Sistemi LTI in spazio di stato e sistemi MIMO
  - Diagrammi di simulazione
  - Rappresentazioni in forma canonica
  - Matrice di transizione di stato



## UNIVERSITÀ DI PISA

---

- Risposta nel tempo di un sistema in spazio di stato
  - Soluzione di sistemi LTI MIMO mediante matrice di funzioni di trasferimento
  - Corrispondenza fra autovalori della matrice di stato e poli del sistema
  - Trasformazioni di similarità, forma modale e sistemi algebricamente equivalenti
- 
- Stabilità di sistemi LTI e criterio di Routh
  - Riduzioni di modello, dinamiche dominanti e approssimazioni di bassa/alta frequenza
  - Analisi di sistemi dinamici con Matlab-Simulink
- 
- Strumenti per analisi di sistemi LTI
  - Simulazione numerica di sistemi nonlineari

### Bibliografia e materiale didattico

- Ogata K., "Modern Control Engineering", Prentice Hall, 2010 (<http://aleph-sba.unipi.it>).
- Franklin G.F., Powell D.J. and Emami-Naeini A., "Feedback Control of Dynamic Systems", Pearson, 2015 (<http://aleph-sba.unipi.it>).
- Di Rito G., Lecture notes of the course "Aerospace Dynamic Systems Analysis" (<http://elearn.ing.unipi.it/>)

### Indicazioni per non frequentanti

Nessuna indicazione.

### Modalità d'esame

Le modalità d'esame sono le seguenti:

- l'esame è composto da una prova scritta ed una prova orale
- la prova scritta ha una durata di 2 ore circa e consiste nella soluzione (sia in forma parametrica che numerica) di più esercizi/problemi di analisi dinamica. Gli studenti non possono utilizzare calcolatrici grafici, né testi. Una volta superata, la prova scritta rimane valida per un anno solare e dà la possibilità di sostenere la prova orale. In caso lo studente abbia superato la prova scritta, ma si presenta nuovamente e consegna l'elaborato alla fine della prova, il precedente scritto viene invalidato e si considera solo l'ultimo scritto consegnato
- per ogni esercizio o parte di esercizio, viene indicato il punteggio in trentesimi associato alla sua corretta risoluzione, e la prova scritta risulta superata se il punteggio complessivo ottenuto dallo studente supera o uguaglia 17 punti su 30
- la prova orale consiste in un colloquio tra il candidato e il docente, o altri collaboratori del docente titolare. Durante la prova orale, vengono formulate domande volte a verificare il corretto approccio teorico e metodologico alla soluzione dei problemi, e può essere anche richiesto al candidato di risolvere problemi/esercizi davanti al docente. La durata media del colloquio è di 30 minuti
- la prova orale è superata se il candidato mostra di essere in grado di esprimersi in modo chiaro e di usare la terminologia corretta, e se il candidato risponde correttamente almeno alle domande corrispondenti alla parte basilare del corso
- il voto finale è espresso in trentesimi

### Altri riferimenti web

Non applicabile.

### Note

- Nessuna.

Ultimo aggiornamento 31/08/2023 18:06