

# INGEGNERIA DELL'INFORMAZIONE (LB08)

(Lecce - Università degli Studi)

## Insegnamento **TEORIA DEI SISTEMI**

**Insegnamento** TEORIA DEI SISTEMI

**Anno di corso** 3

**Insegnamento in inglese** SYSTEM THEORY

**Lingua** ITALIANO

**Settore disciplinare** ING-INF/04

**Percorso** PERCORSO COMUNE

GenCod A000058

**Docente titolare** Antonio MASCIULLO

**Corso di studi di riferimento** INGEGNERIA DELL'INFORMAZIONE

**Tipo corso di studi** Laurea

**Sede** Lecce

**Crediti** 6.0

**Periodo** Secondo Semestre

**Ripartizione oraria** Ore Attività frontale: 54.0

**Tipo esame** Orale

**Per immatricolati nel** 2017/2018

**Valutazione** Voto Finale

**Erogato nel** 2019/2020

**Orario dell'insegnamento**

<https://easyroom.unisalento.it/Orario>

## BREVE DESCRIZIONE DEL CORSO

Il corso fornisce allo studente le competenze necessarie per l'analisi delle proprietà strutturali dei sistemi dinamici lineari tempo invarianti in forma di stato.

Il corso fornisce inoltre gli strumenti per l'analisi della stabilità di sistemi lineari e non lineari tempo invarianti.

Alla fine del corso, lo studente avrà acquisito le metodologie per analizzare la stabilità, la raggiungibilità e l'osservabilità di sistemi lineari tempo invarianti.

## PREREQUISITI

Sono utili conoscenze di analisi, algebra lineare e segnali e sistemi.

---

## OBIETTIVI FORMATIVI

### 1. Conoscenze e comprensione relativamente a:

- Analisi dei sistemi dinamici a modelli di stato e per la determinazione delle soluzioni delle equazioni di stato nel caso autonomo-lineare.
- Calcolo dell'esponenziale di una matrice, forma di Jordan ed autovettori generalizzati.
- Analisi modale e comportamento asintotico dei modi.
- Traiettorie di stato e sulla stabilità dei punti di equilibrio.
- Raggiungibilità, controllabilità e osservabilità dello stato.

### 2) Capacità di applicare conoscenze e comprensione:

Alla fine del corso, lo studente avrà acquisito capacità critica di rapportarsi, con maturità ed autonomia, alle problematiche di analisi tipiche dei sistemi dinamici e sarà in grado di:

- applicare in maniera rigorosa i concetti di base dei sistemi lineari tempo-invarianti;
- affrontare in maniera adeguata le problematiche connesse alla stabilità dei sistemi lineari e non lineari, tempo-invarianti;
- rapportarsi a casi pratici ed applicativi riguardanti la stabilità, la raggiungibilità, la controllabilità e l'osservabilità dei sistemi dinamici.

### 3) Autonomia di giudizio.

Il corso è svolto in modo da favorire l'integrazione di concetti teorici con casi pratici applicativi. In particolare, le esercitazioni teorico-pratiche consentono allo studente di sviluppare un approccio critico nell'analisi di problematiche ingegneristiche relative ai sistemi dinamici.

4) Abilità comunicative. Utilizzando le conoscenze acquisite nel corso, lo studente sarà in grado di argomentare le conoscenze scientifiche circa i sistemi dinamici in modo chiaro, logico, efficace, utilizzando il corretto linguaggio tecnico.

5) Capacità di apprendimento. Attraverso le basi teoriche acquisite durante il corso, gli studenti saranno in grado di applicare le conoscenze e i metodi acquisiti, sia per favorire l'apprendimento nel successivo livello di studi, sia per l'autoapprendimento in un contesto lavorativo.

---

## METODI DIDATTICI

Lezioni teoriche, esercitazioni numeriche a cui va aggiunto lo studio svolto autonomamente dagli studenti.

---

## MODALITA' D'ESAME

L'esame consiste in una prova scritta, composta da due parti: una a carattere teorico e una a carattere applicativo.

Nello specifico, la parte teorica della prova mira a verificare la capacità dello studente di comprendere gli aspetti formali degli argomenti svolti nel corso e di presentarli in modo rigoroso. La parte applicativa della prova scritta, invece, consiste di esercizi che mirano a valutare l'abilità dello studente nell'analizzare criticamente le principali proprietà dei sistemi dinamici (quali modi del sistema, stabilità, controllabilità e osservabilità).

Presentazione del corso: bibliografia, modalità di ricevimento, modalità di esame. Introduzione al corso: prerequisiti, presentazione degli argomenti trattati nel corso in sintesi. Esempi di sistemi, definizione di sistema, modello matematico. Esempi qualitativi di sistemi dinamici e statici causali e non. Sistema come oggetto orientato e introduzione al concetto vettore di ingresso, di vettore di stato e vettore di uscita. (Il vettore delle uscite come elemento che descrive le variabili e le grandezze accessibili ovvero quelle misurate). Esempi di modellizzazione di sistemi meccanici, termodinamici, idraulici ed elettrici. Astrazione del modello matematico e analogie tra sistemi meccanici termodinamici idraulici ed elettrici.

Svolgimento di tre esercizi pratici su come giungere alla equazione di stato partendo dalla configurazione elettrica e dal relativo sistema di equazioni descrittive in varie forme. Individuazione delle variabili di stato e delle variabili di ingresso.

Principio di sovrapposizione degli effetti. Risposta libera e risposta forzata. (risoluzione dell'equazione di stato in risposta libera e risposta forzata nel dominio del tempo nel caso lineare. (Risoluzione del dominio di Laplace). Introduzione della matrice esponenziale. Derivata della matrice esponenziale. Richiami di algebra matriciale. Richiami sulle operazioni elementari tra vettori e matrici e sulla loro interpretazione operativa Determinanti, Aggiunta, Minore complementare, Aggiunta ed Inversa. Richiami su Spazio Vettoriale, Basi Endomorfismi, Range, Kernel. Similitudine tra matrici, Autospazi invarianti e interpretazione grafica, Autovalori ed Autovettori molteplicità algebrica e geometrica.

Diagonalizzazione per similitudine di matrici a struttura semplice. Diagonalizzazione semplice o a blocchi nel caso di autovalori complessi coniugati. Esempi con esercizi svolti con struttura semplice con molteplicità semplice non solo uguale ad uno. Esercizio con autovalori complessi coniugati.

Introduzione alla matrice di Jordan con un esempio di matrice non diagonalizzabile. Concetto di autovettori generalizzati. Molteplicità algebrica e molteplicità geometrica di un autovalore. Catene di autovettori generalizzati. Forma di Jordan di una matrice. Esercizi sulla forma di Jordan.

Calcolo della matrice potenza e della matrice esponenziale sia nel caso di matrice diagonalizzabile che di matrice di Jordan. Esempio di risposta libera con un caso completo anche di autovalori complessi coniugati.

Derivazione dei modi nel caso di risposta forzata di un sistema proprio. Derivazione di modo eccitabile e osservabile. Analisi qualitativa della traiettoria dello stato in funzione della posizione degli autovalori sul piano di Gauss.

Definizione di Sistemi Dinamici tempo discreto: Causali e strettamente causali, Sistemi tempo invarianti, lineari e tempo invarianti. Esempio di sistema discreto intrinsecamente a tempo discreto. Analisi nel tempo di un sistema LTI a tempo discreto. Risposta libera e risposta forzata. Elevamento a potenza di una matrice a ed esempio con autovalori complessi coniugati. Modi naturali nel caso tempo discreto.

Discretizzazione dei segnali tempo continuo. Ruolo del tempo di campionamento. Mapping del semipiano sinistro di Gauss a tempo continuo rispetto al cerchio di raggio unitario. Esempio del calcolo integrale  $\int_0^T e^{Ft} G dt$  sia quando la  $F$  è invertibile sia quando non lo è. Esercizio sulla decomposizione di Jordan.

Richiami sulle traiettorie. Stabilità alla Lyapunov per sistemi dinamici non lineari a tempo continuo: punti di equilibrio e loro stabilità, definizione di stabilità locale e globale. Teorema (enunciato) sulla stabilità semplice ed asintotica dei sistemi lineari tempo invarianti Teorema (enunciato) di Lyapunov sulla linearizzazione di sistemi autonomi tempo invarianti non lineari. Esercizi sullo stesso teorema. Richiami su sistemi conservativi e dissipativi. Dimostrazione del metodo diretto di Lyapunov ed esercizio.

Proprietà dell'equazione di Lyapunov e dimostrazione del relativo teorema. Richiami sulla linearizzazione dei sistemi non lineari. Estensione del metodo di Lyapunov. Criterio di stabilità di Lyapunov. Teorema di linearizzazione. Criterio di Krasowskii. Esercitazione sugli argomenti appena svolti.

Trasformata di Laplace. Matrice delle risposte impulsive nello stato. Matrice delle risposte impulsive

nell'uscita. Prodotto di convoluzione tra le matrici delle risposte impulsive e ingresso generico. Definizione di Funzione di trasferimento nei sistemi lineari tempo invarianti. Modello ISU come sistema a parametri concentrati. Applicazione di Laplace al modello ISU. Sistema LTI a forma minima. Polinomio a forma minima. Modi non eccitabili e non osservabili nella funzione di trasferimento.

Chiarimenti su Matrice delle risposte impulsive nello stato e nell'uscita e sulla funzione di trasferimento. Definizione ed esempi di sistemi Raggiungibili. Spazio raggiungibile. Matrice di raggiungibilità nel caso discreto in sistemi LTI. Differenze nella raggiungibilità tra sistemi continui e sistemi discreti in sistemi LTI. Condizione necessaria e sufficiente per avere un sistema LTI completamente raggiungibile. Esempio 2D di sistema non completamente raggiungibile. F-invarianza (no dimostrazione). Esistenza di una matrice di trasformazione per la separazione della parte raggiungibile dalla parte non raggiungibile in sistemi LTI. Evidenziato graficamente la differenza tra le due parti.

Risposta all'impulso evidenziando la parte raggiungibile. Corrispondenza tra modi eccitabili e modi raggiungibili. Test PBH con dimostrazione. Applicazione del test PBH con riferimento alla forma di Jordan. Controllabilità.

Retroazione dello stato. Allocazione degli autovalori. Condizioni di controllabilità e stabilizzabilità. Risoluzione del problema della controllabilità nel caso di sistema a più ingressi. Lemma di Heymann

---

#### TESTI DI RIFERIMENTO

Teoria dei sistemi dinamici, Mauro BISIACCO, Simonetta BRAGHETTO  
Appunti del corso