

## Teoria dei Sistemi e Controllo Ottimo e Adattativo (C. I.)

## Teoria dei Sistemi (Mod. A)

## Programma finale del corso

(aggiornato al 18/04/2021)

## Parte I: Modelli di sistemi dinamici e analisi modale

Lez.	Data	Argomenti trattati ( <i>tra parentesi le sezioni relative del testo di riferimento del corso: M. Bisiacco, S. Braghetto. "Teoria dei sistemi dinamici". Esculapio, 2 Ed., 2010</i> )
Lez. 1	01/03/21	Introduzione al corso. Obiettivi del corso. Definizione generale di sistema dinamico.
Lez. 2	03/03/21	Classificazione dei sistemi dinamici (§1.1). Rappresentazione esterna. Rappresentazione interna o di stato e proprietà di separazione (§1.1). Sistemi lineari in rappresentazione di stato (§1.2). Principio di sovrapposizione degli effetti. Esempi di modelli in spazio di stato.
Lez. 3	04/03/21	Esempi di modelli in spazio di stato. Soluzioni di un sistema lineare autonomo a tempo continuo e definizione di esponenziale di matrice (§1.3, 1.4). Proprietà della matrice esponenziale. Calcolo dell'esponenziale di matrice tramite metodo diretto per alcune classi di matrici.
Lez. 4	05/03/21	Introduzione a Matlab <sup>®</sup> e al Control System Toolbox di Matlab <sup>®</sup> .
Lez. 5	08/03/21	Richiami di algebra lineare (vettori linearmente indipendenti e basi in $\mathbb{R}^n$ , trasformazioni lineari, fatti base sulle matrici, condizione per la diagonalizzabilità di una matrice). Calcolo dell'esponenziale di matrice per matrici diagonalizzabili. Forma di Jordan e calcolo della forma di Jordan per matrici di dimensione $n \leq 3$ (§1.6).
Lez. 6	10/03/21	Calcolo dell'esponenziale di matrice nel caso generale tramite forma di Jordan ed evoluzione libera di un sistema lineare a tempo continuo (§1.7). Modi elementari di un sistema lineare a tempo continuo e analisi modale (§1.7, 1.8). Evoluzione forzata di un sistema lineare a tempo continuo (§3.1). Sistemi algebricamente equivalenti (§3.1). Matrice di trasferimento e sua struttura nella base di Jordan (§3.1).
Lez. 7	11/03/21	Calcolo della potenza di una matrice tramite forma di Jordan ed evoluzione libera di un sistema lineare a tempo discreto (§3.5). Modi elementari di un sistema lineare a tempo discreto e analisi modale (§3.6). Evoluzione forzata di un sistema lineare a tempo discreto (§3.5). Evoluzione libera e forzata di sistemi a tempo discreto nel dominio delle trasformate Zeta (§3.7).
Lez. 8	12/03/21	Esercizi di ricapitolazione.

## Parte II: Stabilità di sistemi dinamici

Lez.	Data	Argomenti trattati ( <i>tra parentesi le sezioni relative del testo di riferimento del corso: M. Bisiacco, S. Braghetto. "Teoria dei sistemi dinamici". Esculapio, 2 Ed., 2010</i> )
Lez. 9	15/03/21	Traiettorie di stato e ritratto di fase di un sistema dinamico (§2.1). Ritratto di fase di sistemi lineari 2-dimensionali e caratterizzazione delle traiettorie di stato rettilinee di sistemi lineari (§2.1). Definizione di punto di equilibrio di un sistema (§2.2). Punto di equilibrio in presenza di ingressi costanti (§3.2). Stabilità semplice e asintotica di un equilibrio (§2.2). Stabilità semplice e asintotica di sistemi lineari (§2.2). Linearizzazione di un sistema non lineare attorno ad un equilibrio (§2.5).
Lez. 10	17/03/21	Teorema di linearizzazione a tempo continuo e discreto (§2.6). Funzioni energia di sistemi fisici (oscillatore armonico e pendolo) e loro relazione con la stabilità di equilibri del sistema (§2.3). Funzioni (semi)definite positive, negative, indefinite e funzioni di Lyapunov a tempo continuo e discreto (§2.6). Teorema di stabilità di Lyapunov a tempo continuo e discreto (§2.6). Esempi di applicazione del Teorema di Lyapunov.
Lez. 11	18/03/21	Teorema di Krasowskii a tempo continuo e discreto (§2.7). Esempi di applicazione del Teorema di Krasowskii.
Lez. 12	19/03/21	Esercizi di ricapitolazione.

## Parte III: Analisi e controllo di sistemi dinamici

Lez.	Data	Argomenti trattati ( <i>tra parentesi le sezioni relative del testo di riferimento del corso: M. Bisiacco, S. Braghetto. "Teoria dei sistemi dinamici". Esculapio, 2 Ed., 2010.</i> )
Lez. 13	24/03/21	Raggiungibilità e controllabilità di sistemi dinamici: definizioni generali. Raggiungibilità di sistemi lineari a tempo discreto: proprietà degli spazi raggiungibili e criterio di raggiungibilità del rango (§4.1). Raggiungibilità di sistemi algebricamente equivalenti (§4.2). Calcolo dell'ingresso di controllo a minima energia (§4.2).
Lez. 14	25/03/21	Spazi $F$ -invarianti e caratterizzazione geometrica dello spazio raggiungibile (§4.1). Forma di Kalman di raggiungibilità (§4.3). Matrice di trasferimento nella forma di Kalman (§4.3). Test PBH di raggiungibilità e autovalori non raggiungibili (§4.4). Controllabilità di sistemi lineari a tempo discreto: proprietà degli spazi controllabili, criterio di controllabilità tramite sottospazi e test PBH di controllabilità (§4.5).
Lez. 15	26/03/21	Raggiungibilità di sistemi lineari a tempo continuo: criterio di raggiungibilità del rango (§4.6). Equivalenza tra raggiungibilità e controllabilità di sistemi lineari a tempo continuo (§4.6). Esercizi.
Lez. 16	29/03/21	Introduzione al problema del controllo: problemi di regolazione e asservimento, tecniche di controllo in catena aperta e in retroazione, retroazione statica/dinamica dallo stato e dall'uscita. Esempio di controllo in retroazione statica dallo stato e dall'uscita della posizione dell'albero di un motore elettrico.
Lez. 17	31/03/21	Retroazione statica dallo stato: equazioni del sistema retroazionato, matrice di retroazione di sistemi algebricamente equivalenti, forma di Kalman del sistema retroazionato (§5.1). Controllo in retroazione per sistemi singolo ingresso: assegnabilità degli autovalori e metodo diretto di allocazione degli autovalori. Controllori dead-beat. Controllo in retroazione per sistemi con ingressi multipli: Lemma di Heymann (§5.3). Stabilizzabilità di sistemi a tempo continuo e discreto (§5.2).

Lez. 18	01/04/21	Esercizi su raggiungibilità, controllabilità e retroazione dallo stato.
Lez. 19	07/04/21	Osservabilità e ricostruibilità di sistemi dinamici: definizioni generali. Stati indistinguibili e non osservabili. Osservabilità di sistemi lineari a tempo discreto: proprietà degli spazi non osservabili e criterio di osservabilità del rango (§6.3, 6.4). Spazio non ricostruibile e criterio di ricostruibilità per sistemi lineari a tempo discreto (§6.5). Osservabilità di sistemi lineari a tempo continuo. Equivalenza tra osservabilità e ricostruibilità di sistemi lineari a tempo continuo (§6.5).
Lez. 20	08/04/21	Sistema duale e sue proprietà (§6.1). Forma di Kalman di osservabilità, test PBH di osservabilità (§6.1). Proprietà equivalenti all'osservabilità (§6.2). Proprietà equivalenti alla ricostruibilità (§6.5). Il problema della stima dello stato. Stimatori ad anello aperto e chiuso, e stimatori dead-beat (§6.6). Rivelabilità di sistemi a tempo continuo e discreto (§6.6)
Lez. 21	09/04/21	Il regolatore: definizione ed equazioni dinamiche (§7.1). Principio di separazione e condizioni di esistenza di regolatori stabilizzanti e dead-beat (§7.1).
Lez. 22	12/04/21	Esercizi su osservabilità, ricostruibilità, stimatori e regolatori.
Lez. 23	14/04/21	Esercizi in preparazione all'esame.
Lez. 24	16/04/21	Esercitazione Matlab <sup>®</sup> : controllo di un segway.

---