

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

## Teoria dei Sistemi (Mod. A)

## Programma dettagliato

(aggiornato al 15/01/20)

## Parte I: Modelli di stato e analisi modale

	Data e ore	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	01/10/19 h. 11–13	Introduzione al corso. Obiettivi del corso. Definizione generale di sistema dinamico.
Lez. 2	07/10/19 h. 16–18	Classificazione dei sistemi dinamici (§1.1). Rappresentazione esterna. Rappresentazione interna o di stato (§1.1). Proprietà di separazione dello stato di un sistema (§1.1). Sistemi lineari in rappresentazione di stato (§1.2). Principio di sovrapposizione degli effetti. Esempi di modelli di stato a tempo continuo.
Lez. 3	08/10/19 h. 11–13	Esempi di modelli di stato a tempo discreto. Soluzioni di un sistema lineare autonomo a tempo continuo e definizione di esponenziale di matrice (§1.3). Calcolo dell'esponenziale di matrice tramite metodo diretto: esempi (§1.4).
Lez. 4	14/10/19 h. 16–18	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.
Lez. 5	15/10/19 h. 11–13	Forma di Jordan: idea generale e suo utilizzo nel calcolo delle soluzioni di un sistema lineare. Autovettori generalizzati e costruzione di catene di Jordan (§1.5). Forma di Jordan: struttura e proprietà (§1.6). Polinomio annullatore di una matrice (§3.3).
Lez. 6	21/10/19 h. 16–18	Polinomio minimo e teorema di Cayley–Hamilton (§3.3). Matrici cicliche (§1.7). 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	22/10/19 h. 11–13	Evoluzione libera e forzata a tempo continuo nel dominio delle trasformate di Laplace (§3.1). 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	28/10/19 h. 16–18	Esercizi di ricapitolazione sulla parte I del corso.

## Parte II: Stabilità di sistemi non lineari

	Data e ore	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	29/10/19 h. 11–13	Traiettorie di stato e ritratto di fase di un sistema dinamico (§2.1). Ritratto di fase di sistemi lineari 2-dimensionali (§2.1). 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	04/11/19 h. 16–18	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).
Lez. 11	05/11/19 h. 11–13	Teorema di Krasowskii a tempo continuo e discreto (§2.7). Funzioni di Lyapunov quadratiche e matrici (semi)definite positive, negative, indefinite (§2.3). Test di Sylvester per matrici definite positive (§2.3). Applicazione del teorema di stabilità di Lyapunov a sistemi lineari (§2.3). Equazione di Lyapunov a tempo continuo e sue proprietà (§2.4).
Lez. 12	11/11/19 h. 11–13	Equazione di Lyapunov a tempo discreto e sue proprietà (§3.6). Esercizi di ricapitolazione sulla parte II del corso.

## Parte III: Analisi e controllo di sistemi lineari

	Data e ore	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	11/11/19 h. 14–16	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 e ingresso a minima energia (§4.2).
Lez. 14	12/11/19 h. 11–13	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). Test di Jordan di raggiungibilità (§4.4). Controllabilità di sistemi lineari a tempo discreto: proprietà degli spazi controllabili e criterio di controllabilità (§4.5).
Lez. 15	18/11/19 h. 16–18	Forma di Kalman e condizioni per la controllabilità di sistemi a tempo discreto (§4.5). Controllabilità di sistemi reversibili (§4.5). Test PBH di controllabilità (§4.5). Raggiungibilità di sistemi lineari a tempo continuo: criterio di raggiungibilità del rango e ingresso a minima energia (§4.6, senza derivazione del criterio del rango tramite operatori aggiunti). Equivalenza tra raggiungibilità e controllabilità di sistemi lineari a tempo continuo (§4.6). Esercizi su raggiungibilità/controllabilità.
Lez. 16	19/11/19 h. 11–13	Introduzione al problema del controllo: problemi di regolazione e asservimento, 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.

	Data e ore	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. 17	19/11/19 h. 14–16	Retroazione statica dallo stato: equazioni del sistema retroazionato, matrice di retroazione di sistemi algebricamente equivalenti, proprietà di raggiungibilità del sistema retroazionato (§5.1). Basi cicliche e forma canonica di controllo (§3.4, §4.2). Allocazione degli autovalori per sistemi raggiungibili con un ingresso tramite forma canonica di controllo (§5.1). Allocazione degli autovalori per sistemi raggiungibili con un ingresso tramite metodo diretto. Esempi di allocazione degli autovalori.
Lez. 18	25/11/19 h. 16–18	Funzione di trasferimento del sistema retroazionato da un ingresso (§5.2). Allocazione degli autovalori per sistemi raggiungibili con ingressi multipli: Lemma di Heymann (§5.3, solo enunciato). Cenni alla forma canonica di controllo multivariabile. Stabilizzabilità di sistemi a tempo continuo e discreto (§5.2). Esercizi sulla retroazione dallo stato.
Lez. 19	26/11/19 h. 11–13	Osservabilità e ricostruibilità di sistemi dinamici: definizioni generali. Osservabilità di sistemi lineari a tempo discreto: proprietà degli spazi non osservabili e criterio di osservabilità del rango (§6.3, §6.4). Osservabilità di sistemi algebricamente equivalenti (§6.3). Calcolo della condizione iniziale da dati ingresso/uscita (§6.3). Stati indistinguibili (§6.3). Spazio non ricostruibile e criterio di ricostruibilità per sistemi lineari a tempo discreto (§6.5).
Lez. 20	02/12/19 h. 16–18	Osservabilità di sistemi lineari a tempo continuo: criterio del rango (§6.3). Equivalenza tra osservabilità e ricostruibilità di sistemi lineari a tempo continuo (§6.5). Sistema duale e sue proprietà (§6.1). Uso della dualità per ricavare la forma di Kalman di osservabilità, la forma canonica di osservazione e il test PBH di osservabilità (§6.1). Proprietà equivalenti all'osservabilità (§6.2). Proprietà equivalenti alla ricostruibilità (§6.5).
Lez. 21	03/12/19 h. 16–18	Il problema della stima dello stato. Stimatori asintotici di ordine intero a catena aperta e a catena chiusa (§6.6). Evoluzione dell'errore di stima e calcolo del guadagno dello stimatore (§6.6). Rivelabilità di sistemi a tempo continuo e discreto (§6.6). Cenni agli stimatori di ordine ridotto. Regolatore: definizione ed equazioni dinamiche (§7.1). Principio di separazione e matrice di trasferimento del regolatore (§7.1).
Lez. 22	17/12/19 h. 9–11	Esercizi su osservabilità/ricostruibilità, stima dello stato e sintesi del regolatore.
Lez. 23	17/12/19 h. 11–13	Esercizi in preparazione all'esame.
Lez. 24	13/01/20 h. 9–11	Esercizi in preparazione all'esame.