



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO

DIPARTIMENTO	Ingegneria
ANNO ACCADEMICO OFFERTA	2022/2023
ANNO ACCADEMICO EROGAZIONE	2023/2024
CORSO DILAUREA MAGISTRALE	INGEGNERIA AEROSPAZIALE
INSEGNAMENTO	MOBILE AND DISTRIBUTED ROBOTICS
TIPO DI ATTIVITA'	C
AMBITO	20907-Attività formative affini o integrative
CODICE INSEGNAMENTO	21526
SETTORI SCIENTIFICO-DISCIPLINARI	ING-INF/04
DOCENTE RESPONSABILE	FAGIOLINI ADRIANO Professore Associato Univ. di PALERMO
ALTRI DOCENTI	
CFU	6
NUMERO DI ORE RISERVATE ALLO STUDIO PERSONALE	96
NUMERO DI ORE RISERVATE ALLA DIDATTICA ASSISTITA	54
PROPEDEUTICITA'	
MUTUAZIONI	MOBILE AND DISTRIBUTED ROBOTICS - Corso: INGEGNERIA DEI SISTEMI CIBER-FISICI PER L'INDUSTRIA MOBILE AND DISTRIBUTED ROBOTICS - Corso: CYBER-PHYSICAL SYSTEMS ENGINEERING FOR INDUSTRY
ANNO DI CORSO	2
PERIODO DELLE LEZIONI	1° semestre
MODALITA' DI FREQUENZA	Facoltativa
TIPO DI VALUTAZIONE	Voto in trentesimi
ORARIO DI RICEVIMENTO DEGLI STUDENTI	FAGIOLINI ADRIANO Martedì 16:00 20:00 - Edificio 10, Viale delle Scienze, Ufficio Docente- Canale Teams

DOCENTE: Prof. ADRIANO FAGIOLINI

PREREQUISITI	Conoscenze di base di Fisica (Meccanica ed Elettromagnetismo), di Calcolo vettoriale, di Teoria dei Sistemi e/o di Controlli Automatici.
RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI	Lo studente imparerà nozioni e competenze rispetto ai seguenti punti: • conoscenza di base: modellazione di alcuni sistemi fisici caratterizzati da comportamento dinamico non lineare, analisi della stabilità degli equilibri, caratterizzazione delle proprietà di controllabilità ed osservabilità non lineari di tali sistemi, progettazione di un controllore stabilizzante mediante tecnica di Lyapunov; • conoscenza applicata: identificazione ed analisi dei vincoli cinematici di un robot mobile, nonché derivazione dei modelli cinematico e dinamico con stato ed ingressi fisicamente accessibili, progettazione di un controllore non lineare (statico e dinamico) e valutazione della validità locale e globale, modellazione di un robot distribuito e progettazione di leggi di controllo collaborative e decentralizzate per il coordinamento, la formazione, e la obstacle avoidance; • autonomia di giudizio: valutazione dell'effettiva bontà di un modello e del controllore adottati e identificazione delle eventuali correzioni necessarie; • abilità comunicative: collaborazione multidisciplinare con colleghi del proprio corso di laurea e di altri corsi, con esperti ed utilizzatori di robot, mediante espressioni chiare e sintetiche sui requisiti, i problemi ed i vantaggi derivanti dall'uso di un tale robot; • capacità di apprendere: abilità di approfondire lo studio sistemi robotici esistenti e nuovi.
VALUTAZIONE DELL'APPRENDIMENTO	L'esame consiste nello sviluppo e nella presentazione orale di un progetto. Il progetto, da svolgere in gruppo e da remoto, consiste nell'approfondimento di uno o più argomenti affrontati nel corso e nella realizzazione di una dimostrazione mediante gli strumenti matematici ed informatici introdotti a lezione. L'argomento del progetto viene concordato con il docente durante il corso (all'inizio del terzo mese del corso). L'esame mira a valutare la conoscenza degli argomenti, la capacità espressiva e l'uso corretto del gergo tecnico, ed infine l'abilità di ragionare in maniera critica sull'argomento trattato.
OBIETTIVI FORMATIVI	Il primo obiettivo formativo del corso è di fornire gli strumenti teorici per lo studio dei modelli dinamici non lineari, per la progettazione di controllori non lineari, in condizioni di conoscenza nominale del modello, e per la validazione degli stessi rispetto a disturbi ed incertezza di modello. Come secondo obiettivo il corso mira ad introdurre alcuni principali strumenti software (Matlab/Simulink, ROS, Gazebo) per la simulazione, realizzazione e la verifica di applicazioni con robot mobili e distribuiti.
ORGANIZZAZIONE DELLA DIDATTICA	Lezioni, esercitazioni e laboratorio.
TESTI CONSIGLIATI	• Dispense fornite dal docente / Lecture notes provided by the teacher • L. Sciacivco, B. Siciliano, L. Villani, G. Oriolo, Robotica, McGraw-Hill, 3 a edizione, 2008, ISBN: 883866322X • Hassan K. Khalil, Nonlinear Systems, 3° edizione, Prentice Hall, ISBN: 9780130673893

PROGRAMMA

ORE	Lezioni
2	1.1 "Introduzione alla robotica mobile". Applicazioni industriali e nell'ambito dei servizi.
3	1.2 "Richiami di analisi dei sistemi dinamici non lineari". Forma di stato. Equilibri e stabilità. Teorema di Lyapunov. Teorema di Barbashin-Krasovskii, Metodo del gradiente variabile, Insiemi invarianti e Teorema di Krasovskii-Lasalle. Cicli limite.
5	1.3 "Strumenti di base per il controllo non lineare". Funzioni di controllo di Lyapunov. Backstepping. Linearizzazione esatta ingresso-uscita SISO.
6	1.4 "Robot su ruote". Anolonomia e forme canoniche. Veicoli tipo uniciclo (modello cinematico e dinamico, controllo del moto punto-punto, inseguimento di percorsi e di traiettorie). Veicoli car-like (modelli cinematici a trazione anteriore o posteriore, con riferimento anteriore o posteriore, modelli dinamici, inseguimento di percorso e parcheggio automatizzato).
4	2.1 "Veicoli da Corsa". Meccanica della ruota e dello pneumatico. Slittamento dello pneumatico. Magic formula. Componenti del modello del veicolo (cinematica, interazione strada-pneumatico, trasferimento dei carichi, modello del primo ordine delle sospensioni, cenni sulla frenata). Modello a singola traccia (non lineare). Controllo lineare per velocità di avanzamento e/o vento laterale costanti). Modello a doppia traccia. Controllo del rollio e della velocità laterale. Model predictive control (MPC), controllo ad orizzonte sfuggente, per alcune traiettorie. Pianificazione ottima (soluzioni a minima lunghezza, minima curvature o mista).
6	2.2 "Robot Aerei". Applicazioni. Struttura meccanica, sotto-attuazione e modello di un quadrotor. Controllo lineare di assetto e posizione in cascata per la configurazione di hovering. Cenni sui controllori non lineari per l'inseguimento di traiettorie acrobatiche.
4	3.1 "Robot Distribuiti". Richiami alla teoria dei grafi. Cooperazione basata su scambio di messaggi. Algoritmo lineare del consenso. Coordinamento per rendez-vous, copertura e mantenimento in formazione. Partizioni di Voronoi.
2	3.2 "ROS (Robot Operating System)". Architettura. Protocollo MAVLINK. Programmazione con Matlab/Simulink e Software In The Loop (SITL).

PROGRAMMA

ORE	Lezioni
4	3.3. "Strumenti di analisi controllo non lineare avanzati". Raggiungibilita' e osservabilita' per sistemi non lineari, derivate e prodotto di Lie, distribuzioni involutive. Linearizzazione esatta ingresso-uscita MIMO. Controllo adattativo e stima online dei parametri. Controllo adattivo in backstepping.
6	4.1 "Robot con embodied intelligence". Modellazione di soft robot con attuazione pneumatica e con attuazione elettrica, in configurazione agonista-antagonista. Controllo robusto ed adattativo di soft robot. Stima delle rigidita' di giunto con approcci lato attuazione e lato link. Cenni alla stima della rigidita' cartesiana.
ORE	Esercitazioni
2	Analisi della stabilita' degli equilibri per sistemi non lineari del secondo e terzo ordine. Metodo diretto di Lyapunov applicato ai robot mobili su ruote.
2	Controllo predittivo basato sul modello (MPC) di veicoli da corsa in TORCS. Controllo di quadrimotore in Matlab/Simulink.
2	Emulazione di hardware in the loop di sistemi di controllo con ROS/Gazebo e schede di prototipizzazione rapida (Arduino, ST-microelectronics, Raspberry).