UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO

DIPARTIMENTO	Ingegneria
ANNO ACCADEMICO OFFERTA	2020/2021
ANNO ACCADEMICO EROGAZIONE	2021/2022
CORSO DILAUREA MAGISTRALE	INGEGNERIA AEROSPAZIALE
INSEGNAMENTO	ROBOTICA MOBILE E DISTRIBUITA
TIPO DI ATTIVITA'	C
AMBITO	20907-Attività formative affini o integrative
CODICE INSEGNAMENTO	20336
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	Il principale obiettivo formativo del corso e' lo studio dei sistemi robotici mobili (terrestri o aerei) e di quelli a base fissa, e del loro impiego in vari contesti applicativi del settore industriale e di quello dei servizi. Tale obiettivo e' raggiunto, in primo luogo, attraverso la trattazione dei modelli matematici non lineari, degli strumenti teorici che ne consentono l'analisi, e di alcune tecniche di base per il controllo degli stessi. Tali strumenti sono poi applicati allo studio del comportamento dinamico dei robot mobili maggiormente usati oggi, ed al controllo del moto degli stessi in presenza di sotto-attuazione e vincoli anolonomi. Infine, attraverso la definizione di procedure e metodologie per la pianificazione delle traiettorie, vengono descritti quei sistemi che consentono l'uso di veicoli o velivoli autonomi, per applicazioni caratterizzate da ambienti strutturati o non.
VALUTAZIONE DELL'APPRENDIMENTO	Prova scritta e prova orale. La prova scritta semi-strutturata della durata di 3 ore, tendente ad accertare il possesso delle abilita', capacita' e competenze previste. Gli stimoli, ben definiti, chiari e unicamente interpretabili, permettono di formulare autonomamente la risposta e sono strutturati in modo da consentirne la confrontabilita'. La loro struttura prevede: a) risposte secche, b) risposte aperte che rispettino vincoli tali da renderle confrontabili con criteri di correzione predeterminati. La prova orale tende ad accertare le capacita' espressive e il corretto uso del gergo tecnico relativo ai sistemi robotici, nonche' la conoscenza degli argomenti trattati durante le lezioni. Tale valutazione e' generalmente ottenuta attraverso 3 domande di diversa complessita' che possono spaziare sull'intero programma.
OBIETTIVI FORMATIVI	Lezioni, esercitazioni e laboratorio. Il corso e' organizzato in due moduli. Gli obiettivi formativi del primo modulo sono quelli di fornire allo studente gli strumenti teorici per lo studio delle proprieta' dei sistemi dinamici non lineari e per la formulazione di schemi di controllo non lineare, in condizioni di conoscenza del modello nominale di alcuni sistemi robotici mobili. Inoltre, il corso ha l'obiettivo di far conosce allo studente gli strumenti software, principalmente Matlab/Simulink, per la simulazione dei sistemi dinamici e per la realizzazione di essi attraverso schede elettroniche per la prototipazione rapida. Per quanto concerne il secondo modulo, gli obiettivi sono quelli di fornire allo studente conoscenze tecnologiche di base nel campo della robotica industriale. Illustrare le principali problematiche legate all'impiego dei robot in ambito industriale. Permettere allo studente di acquisire competenze nell'utilizzo e nella programmazione di robot.
ORGANIZZAZIONE DELLA DIDATTICA	• Conoscenza e capacita' di comprensione (knowledge and understanding): Il corso e' rivolto principalmente ad allievi della laurea triennale in Ingegneria Cibernetica. Lo studente acquisira' conoscenze relative alla modellistica di sistemi fisici descritti da modelli matematici non lineari, a quella di sistemi distribuiti costituiti da piu' sottosistemi interagenti, e all'analisi di stabilita' degli equilibri e delle traiettorie per tali sistemi. Egli acquisira' inoltre la capacita' di comprendere ed astrarre le proprieta' essenziali per una corretta descrizione del modello dinamico dei suddetti sistemi. • Conoscenza e capacita' di comprensione applicate (applied knowledge and understanding): Lo studente acquisira' le conoscenze relative alle caratteristiche essenziali dei sistemi robotici mobili, sara' in grado di individuare le relazioni ed i vincoli cinematici esistenti fra le variabili di stato dei suddetti, ed acquisira' le metodologie per la corretta formulazione dei rispettivi modelli dinamici non lineari. Egli sara' inoltre in grado di applicare e sfruttare le tecniche di analisi della stabilita' degli equilibri alla validazione di algoritmi e di sistemi di controllo del movimento, che consentono di evitare ostacoli presenti nell'ambiente in cui il robot si muove, oppure di stabilire e mantenere la formazione desiderata da parte di una squadra di robot cooperanti. • Autonomia di giudizio (independent judgement) A partire dalla descrizione di un contesto applicativo, nell'ambito del quale si rende necessario l'impiego di un sistema robotico mobile, lo studente sara' in grado di individuare le relative problematiche e definire i requisiti del sistema stesso. Egli sara' inoltre capace di valutare, in completa autonomia, l'effettiva bonta' del sistema scelto e, eventualmente, di intraprendere le necessarie azioni correttrici per il raggiungimento dello scopo richiesto. • Abilita' comunicative (communication skill) Lo studente sara' capace di collaborare con colleghi del proprio corso di laurea, con colleghi di altri corsi, con esperti e con utilizzatori finali di sistemi robotici mobili. Egli, da un lato, sapra' esporre a questi, in modo chiaro e sintetico, i requisiti, i problemi ed i vantaggi che derivano dall'utilizzo di un robot mobile, e dall'altro, sapra' comprendere le specifiche di natura multidisciplinare che i colleghi o gli utenti finali potranno richiedere.

	• Capacita' di apprendere (learning skill) Il corso si pone l'obiettivo di fornire allo studente le nozioni di base per la modellazione, l'analisi, la simulazione ed il controllo delle principali piattaforme robotiche mobili oggi disponibili, ma anche di stimolare l'interesse dello studente per l'approccio di tipo sistematico, utilizzato nella trattazione dei vari argomenti oggetto del corso stesso. Lo studente raggiungera' cosi' la capacita' di risolvere problemi analoghi a quelli affrontati, anche riguardanti architetture robotiche e algoritmi di controllo per veicoli o velivoli non trattati nel corso.
TESTI CONSIGLIATI	• Dispense fornite dal docente / Lecture notes provided by the teacher • L. Sciavicco, B. Siciliano, L. Villani, G. Oriolo, Robotica, McGraw-Hill, 3 a edizione, 2008 • Hassan K. Khalil , Nonlinear Systems, 3° edizione, Prentice Hall. • Siegwart, Nourbakhsh, Introduction to Autonomous Mobile Robots, MIT Press, 2010.

PROGRAMMA

ORE	Lezioni
2	1.1 "Introduzione alla robotica mobile". Applicazioni industriali e nell'ambito dei servizi.
4	1.2 "Richiami di analisi dei sistemi dinamici non lineari". Forma di stato. Equilibri e stabilita. Teorema di Lyapunov. Teorema di Barbashin-Krasowskii, Metodo del gradiente variabile, Insiemi invarianti e Teorema di Krasovskii-Lasalle. Cicli limite.
6	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).
6	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 velocita' di avanzamento e/o vento laterale costanti). Modello a doppia traccia. Controllo del rollio e della velocita' 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).
6	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.

ORE	Esercitazioni
2	Analisi della stabilita' degli equilibri per sistemi non lineare 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).