



# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO

<b>DIPARTIMENTO</b>	Ingegneria
<b>ANNO ACCADEMICO OFFERTA</b>	2023/2024
<b>ANNO ACCADEMICO EROGAZIONE</b>	2023/2024
<b>CORSO DILAUREA MAGISTRALE</b>	INGEGNERIA DEI SISTEMI CIBER-FISICI PER L'INDUSTRIA
<b>INSEGNAMENTO</b>	MOBILE AND INDUSTRIAL ROBOTICS C.I.
<b>CODICE INSEGNAMENTO</b>	21517
<b>MODULI</b>	Si
<b>NUMERO DI MODULI</b>	2
<b>SETTORI SCIENTIFICO-DISCIPLINARI</b>	ING-INF/04
<b>DOCENTE RESPONSABILE</b>	FAGIOLINI ADRIANO      Professore Associato      Univ. di PALERMO
<b>ALTRI DOCENTI</b>	FAGIOLINI ADRIANO      Professore Associato      Univ. di PALERMO D'IPPOLITO FILIPPO      Professore Ordinario      Univ. di PALERMO
<b>CFU</b>	12
<b>PROPEDEUTICITA'</b>	
<b>MUTUAZIONI</b>	
<b>ANNO DI CORSO</b>	1
<b>PERIODO DELLE LEZIONI</b>	1° semestre
<b>MODALITA' DI FREQUENZA</b>	Facoltativa
<b>TIPO DI VALUTAZIONE</b>	Voto in trentesimi
<b>ORARIO DI RICEVIMENTO DEGLI STUDENTI</b>	<b>D'IPPOLITO FILIPPO</b> Lunedì    15:30    17:30    Piattaforma MS-TEAMS codice n0hly57 Mercoledì    9:00    10:00    Edificio 10 <b>FAGIOLINI ADRIANO</b> Martedì    16:00    20:00    - Edificio 10, Viale delle Scienze, Ufficio Docente- Canale Teams

DOCENTE: Prof. ADRIANO FAGIOLINI

<b>PREREQUISITI</b>	Conoscenze di base di Fisica (Meccanica ed Elettromagnetismo), di Calcolo vettoriale, di Teoria dei Sistemi e/o di Controlli Automatici.
<b>RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI</b>	<p>Il principale obiettivo formativo del corso e' lo studio dei robot 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 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.</p>
<b>VALUTAZIONE DELL'APPRENDIMENTO</b>	<p>Progetto, scritto e presentazione.</p> <p>Il corso integrato prevede valutazioni per entrambi i moduli. Lo scritto mira a verificare la conoscenza generale degli argomenti trattati durante le lezioni. Il progetto consiste in un approfondimento degli argomenti trattati a lezione. La presentazione tende ad accertare le capacita' espressive e il corretto uso del gergo tecnico relativo ai sistemi robotici.</p> <p>La valutazione dell'apprendimento avviene attraverso lo scritto, il progetto e la presentazione dello stesso, che mirano a valutare:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- la conoscenza e la comprensione dei contenuti del corso</li><li>- la capacita' di applicare le conoscenze a problemi e applicazioni in aree specifiche del corso e/o ad esso correlate;</li><li>- capacita' di collegare e rielaborare le proprie conoscenze e di orientarsi e formulare giudizi in contesti disciplinari e/o interdisciplinari;</li><li>- propriet� di linguaggio e chiarezza di esposizione, scrittura e argomentazione.</li></ul> <p>La valutazione � espressa in trentesimi e il punteggio minimo per superarla � di 18/30. L'assegnazione del voto dipende dal livello complessivo dei risultati ottenuti.</p> <p>Le valutazioni di ciascun modulo contribuiscono al 50% della valutazione complessiva.</p> <p>Gli elementi che contribuiscono alla formazione del voto di ciascun modulo sono i seguenti:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>* 28-30 con lode - Piena padronanza dei contenuti: assenza di errori; correzione delle imprecisioni o integrazione delle risposte in modo autonomo; approccio corretto e rigoroso ai problemi; soluzioni complete, corrette ed efficaci; elementi di originalit�; rielaborazione efficace delle conoscenze, autonomia e coerenza nell'orientarsi o nell'esprimere giudizi in contesti disciplinari/interdisciplinari; eccellente chiarezza espositiva, argomentazioni articolate; piena propriet� di linguaggio.</li><li>* 24-27 - Buona padronanza dei contenuti: pochi errori/omissioni minori, correzioni/integrazioni parzialmente guidate; buona impostazione dei problemi, soluzioni sostanzialmente corrette; buona coerenza nel collegare i concetti e nell'orientarsi in ambiti disciplinari o correlati; buona chiarezza espositiva, corretta propriet� di linguaggio.</li><li>* 18-23 - Conoscenza sufficiente dei contenuti: approccio accettabile ai problemi, soluzioni complessivamente adeguate; autonomia limitata, errori/ omissioni non gravi; coerenza nell'orientare e collegare i concetti nei campi disciplinari, anche se in modo incerto e guidato; sufficiente propriet� di linguaggio, esposizione accettabile.</li></ul> <p>- Minore di 18 - Risultati di apprendimento insufficienti: alla fine della prima met� del corso, � previsto un test in itinere che consiste in un compito scritto con domande aperte sulla parte del programma gi� trattata. Lo scopo di questo test � di rendere gli studenti consapevoli della loro preparazione e il suo risultato non conta ai fini del voto finale.</p>
<b>ORGANIZZAZIONE DELLA DIDATTICA</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Conoscenza e capacita' di comprensione (knowledge and understanding): Lo studente acquisira' conoscenze relative alla modellistica dei sistemi robotici non lineari, monolitici e distribuiti, e all'analisi di stabilit� degli equilibri e delle traiettorie per tali sistemi. Egli acquisira' inoltre la capacita' di comprendere ed astrarre le propriet� essenziali per una corretta descrizione del modello dinamico dei suddetti sistemi.</li><li>• 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 stabilit� degli equilibri alla validazione di algoritmi e di sistemi di controllo del movimento, che consentono di evitare ostacoli presenti nell'ambiente in cui il</li></ul>

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 sarà in grado di individuare le relative problematiche e definire i requisiti del sistema stesso. Egli sarà inoltre capace di valutare, in completa autonomia, l'effettiva bontà del sistema scelto e, eventualmente, di intraprendere le necessarie azioni correttive per il raggiungimento dello scopo richiesto.

- Abilità comunicative (communication skill)

Lo studente sarà 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 ed industriali. Egli, da un lato, saprà 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, saprà comprendere le specifiche di natura multidisciplinare che i colleghi o gli utenti finali potranno richiedere.

- Capacità 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 ed industriali 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 raggiungerà così la capacità di risolvere problemi analoghi a quelli affrontati, anche riguardanti architetture robotiche e algoritmi di controllo per veicoli o velivoli non trattati nel corso.

**MODULO  
MOBILE AND DISTRIBUTED ROBOTICS**

*Prof. ADRIANO FAGIOLINI*

**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, ISBN: 883866322X
- Hassan K. Khalil , Nonlinear Systems, 3° edizione, Prentice Hall, ISBN: 9780130673893

<b>TIPO DI ATTIVITA'</b>	B
<b>AMBITO</b>	50356-Ingegneria dell'automazione
<b>NUMERO DI ORE RISERVATE ALLO STUDIO PERSONALE</b>	96
<b>NUMERO DI ORE RISERVATE ALLE ATTIVITA' DIDATTICHE ASSISTITE</b>	54

**OBIETTIVI FORMATIVI DEL MODULO**

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.

**PROGRAMMA**

ORE	Lezioni
4	L1 "Introduzione alla robotica mobile". Applicazioni industriali e nei servizi. Forme di stato non lineari. Stabilita' degli equilibri mediante la teoria di Lyapunov (richiami ai teoremi di Lyapunov, Barbashin-Krasowskii, Krasovskii-Lasalle).
6	L2 "Robot su ruote". Anolonomia e forme canoniche. Veicoli tipo unicycle (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	L3 "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.
4	L4 "Veicoli da Corsa". Meccanica della ruota e dello pneumatico. Slittamento dello pneumatico. Magic formula. Modello del veicolo (cinematica, interazione strada-pneumatico, trasferimento dei carichi, modello delle sospensioni). Modello a singola traccia non lineare. Controllo longitudinale e laterale con vento. Cenni al modello a doppia traccia e controllo MPC. Pianificazione ottima (a minima lunghezza, curvature o combinazione).
4	L5 "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.
7	L6 "Analisi e controllo non lineare avanzati". Raggiungibilita' e osservabilita', derivate e prodotto di Lie, distribuzioni involutive. Linearizzazione esatta ingresso-uscita MIMO. Controllo adattativo e stima online dei parametri.
7	L7 "Robot con embodied intelligence". Modellazione di soft robot articolati con attuazione pneumatica/elettrica e 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
4	E1 Simulazioni in Matlab/Simulink di controllori non lineari per robot su ruote.
12	E2 "ROS (Robot Operating System)". Architettura e protocolli di comunicazione. URDF. Programmazione di nodi ROS in C++. Simulatore Gazebo. Realizzazione e verifica di controllori in ROS/Gazebo per sistemi a singolo e multi robot.

**MODULO  
INDUSTRIAL ROBOTICS**

*Prof. FILIPPO D'IPPOLITO*

**TESTI CONSIGLIATI**

- Dispense fornite dal Docente
- L. Sciavicco, B. Siciliano, L. Villani, G. Oriolo, Robotica, McGraw-Hill, 3 a edizione, 2008
- L. Sciavicco, B. Siciliano, L. Villani, G. Oriolo, Robotics: Model Planning and Control, Springer, ISBN 978-1846286414

<b>TIPO DI ATTIVITA'</b>	B
<b>AMBITO</b>	50356-Ingegneria dell'automazione
<b>NUMERO DI ORE RISERVATE ALLO STUDIO PERSONALE</b>	96
<b>NUMERO DI ORE RISERVATE ALLE ATTIVITA' DIDATTICHE ASSISTITE</b>	54

**OBIETTIVI FORMATIVI DEL MODULO**

Il corso ha la finalita' di fornire le conoscenze di base necessarie a scrivere in modo sistematico le equazioni cinematiche e del moto (modello dinamico) di un sistema meccanico spaziale (robot). Le conoscenze acquisite nel corso servono per scrivere programmi di uso generale che simulano il comportamento cinematico e/o dinamico delle macchine, per mettere a punto algoritmi di controllo del moto di macchine automatiche e/o manipolatori ed, infine, per leggere la letteratura specializzata del settore.

**PROGRAMMA**

ORE	Lezioni
10	introduzione cinematica matrice di rotazione; composizione di matrici di rotazione; angoli di eulero; asse angolo; trasformazioni omogenee; cinematica diretta; cinematica di strutture tipiche di manipolazione; spazio dei giunti e spazio operativo; calibrazione cinematica; problema cinematico inverso;
10	cinematica differenziale; jacobiano geometrico; jacobiano di strutture tipiche di manipolazione singolarita' cinematiche analisi della ridondanza; inversione della cinematica differenziale; jacobiano analitico; algoritmi per l'inversione cinematica; statica; ellissoidi di manipolabilita
7	dinamica formulazione di Lagrange proprieta' del modello identificazione dei parametri dinamici dinamica diretta e inversa modello dinamico nello spazio operativo ellissoide di manipolabilita' dinamica
3	pianificazione di traiettorie; traiettorie nello spazio dei giunti; traiettorie nello spazio cartesiano
5	controllo del moto; controllo del moto indipendente ai giunti; controllo del moto PD con compensazione della gravita; controllo del moto a coppia precalcolata controllo del moto adattativo
1	sensori e attuatori

ORE	Esercitazioni
6	Relazione cinematica diretta di un robot Cinematica inversa di un robot
4	Cinematica differenziale; Inversione della cinematica differenziale e gestione della ridondanza cinematica;
4	Modello dinamico di un robot 2DOF
4	Esercitazione sperimentale sui robot disponibili nel laboratorio di Motion Control e Robotica Industriale (COMAU SMART SIX, antropomorfo e AMADEUS II, scara) del Dipartimento di Ingegneria, ed.10