



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II
SCUOLA POLITECNICA E DELLE SCIENZE DI BASE

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA ELETTRICA E DELLE TECNOLOGIE DELL'INFORMAZIONE

Guida dello Studente

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE in INGEGNERIA
DELL'AUTOMAZIONE E ROBOTICA

Classe delle Lauree Magistrali in Ingegneria dell'Automazione LM-25

MSc AUTOMATION ENGINEERING AND ROBOTICS

ANNO ACCADEMICO 2026/2027

Napoli, settembre 2026

Generalità sul Corso di Studi

Il Corso di Studi in breve

La progettazione e la gestione di sistemi capaci di operare in maniera autonoma senza l'intervento dell'uomo ha assunto un ruolo centrale nella società odierna. Come conseguenza, negli ultimi anni si è registrata una crescita esponenziale degli ambiti di applicazione dei controlli automatici.

La formazione del laureato magistrale in Ingegneria dell'Automazione e Robotica si basa su una solida preparazione di base (matematica, fisica), acquisita durante il percorso di studi triennale, e ha l'obiettivo di formare professionisti in grado di operare su applicazioni delle tecnologie dell'informazione ai problemi di automazione presenti in vari ambiti, tra i quali la robotica, l'industria, le scienze della vita, l'aerospazio e l'elettronica di consumo.

In particolare, il percorso formativo della Laurea Magistrale in Ingegneria dell'Automazione e Robotica prevede:

insegnamenti rivolti ad approfondire le tecniche moderne di controllo di sistemi multivariabile e le tecniche di ottimizzazione

insegnamenti rivolti ad approfondire le conoscenze di ingegneria industriale (elettrica e meccanica)

insegnamenti rivolti ad approfondire l'implementazione di sistemi in tempo reale

insegnamenti comuni di robotica e di controllo di sistemi distribuiti, tenuti in lingua inglese

Inoltre, al secondo anno sono previsti 18 CFU di attività curriculari a scelta dello studente erogati in inglese, relativi ai due percorsi di:

Automation & Control Engineering, nel quale si approfondiscono le tematiche relative al controllo di sistemi distribuiti complessi

Robotics, nel quale si approfondiscono le tematiche relative alle varie applicazioni di robotica industriale e di servizio

Sbocchi occupazionali

Il laureato magistrale in Ingegneria dell'Automazione e Robotica trova ampi sbocchi professionali nel mondo del lavoro, sia a livello nazionale sia a livello internazionale, nei seguenti ambiti:

aziende che producono hardware e software per l'automazione

aziende che progettano e producono macchine, robot e impianti a elevato livello di automazione

aziende che gestiscono impianti di produzione automatizzati

enti o aziende che gestiscono reti e servizi a larga scala

società di ingegneria e di consulenza che analizzano e progettano sistemi complessi

centri di ricerca pubblici e privati

Testimonianze di ex-studenti sono riportate al link

<https://www.youtube.com/watch?v=rePs1YFS4DI&t=3s>

Conoscenze richieste per l'accesso: termini e modalità di ammissione

I requisiti curriculari richiesti includono il conseguimento di una Laurea nella classe L-8. Inoltre, l'accesso è subordinato alla verifica dei requisiti curriculari e dell'adeguatezza della preparazione dello studente così come riportato al link

<https://ingegneria-automazione.dieti.unina.it/index.php/it/corsi-di-studio/regolamento-per-l-ammissione>

Per chiarimenti e ulteriori informazioni contattare il Coordinatore del Corso di Studi.

Piano di Studi

Denominazione Insegnamento	SSD	Modulo	CFU	TAF	Semestre
I anno					
Complementi di controlli	IINF-04/A ING-INF/04	Controllo avanzato ed applicazioni	6	B	PRIMO
Complementi di meccanica	IIND-02/A ING-IND/13	unico	6	B	PRIMO
Modelli e metodi della ricerca operativa	MATH-06/A MAT/09	unico	6	C	PRIMO
Progetto e sviluppo di sistemi in tempo reale	IINF-05/A ING-INF/05	unico	9	C	PRIMO
Lingue Inglese B2		unico	3	E	SECONDO
Azionamenti elettrici per automazione e robotica	IIND-08/A ING-IND/32	unico	9	B	SECONDO
Complementi di controlli	IINF-04/A ING-INF/04	Learning for dynamics and control	6	B	SECONDO
Foundations of robotics	IINF-04/A ING-INF/04	unico	9	B	SECONDO
II anno					
Nonlinear dynamics and control	IINF-04/A ING-INF/04	unico	9	B	PRIMO
Control lab	IINF-04/A ING-INF/04	unico	6	B	PRIMO
Robotics lab	IINF-04/A ING-INF/04	unico			
Advanced control engineering	IINF-04/A ING-INF/04	Discrete event systems and supervisory control	12	B	SECONDO
		Control of complex systems and networks			
Advanced robotics	IINF-04/A ING-INF/04	Field and service robotics			
		Robot interaction control			
Scelta curriculare da Tabella I		unico	6	C	PRIMO/SECONDO
Scelta autonoma dello studente (la Tabella II riporta scelte di automatica approvazione)			15	D	PRIMO/SECONDO
Ulteriori conoscenze (*)			6	F	
Prova finale			12	E	

(*) Le “Ulteriori Conoscenze” possono essere acquisite dall’allievo nell’ambito del lavoro per la preparazione della Tesi. L’acquisizione di tali conoscenze deve essere certificata attraverso un modello AC, controfirmato dal relatore della Tesi di Laurea.

Le “Ulteriori conoscenze” possono altresì essere acquisite mediante tirocini extramoenia o intramoenia.

Il tirocinio extramoenia è svolto presso aziende, centri di ricerca o altri enti pubblici e/o privati, italiani o esteri, con affiancamento di un tutor dell’azienda o dell’ente e la supervisione di un tutor universitario.

Il tirocinio intramoenia è svolto presso laboratori di ricerca dell’ateneo con affiancamento di un tutor universitario (docente o ricercatore).

TABELLA I – SCELTA CURRICULARE II ANNO (6 CFU)			
Denominazione Insegnamento	SSD	CFU	Semestre
Dinamica e controllo del velivoli	IIND-01/C ING- IND/03	6	PRIMO
Distributed control and cyber-physical systems design	IINF-04/A ING- INF/04	6	SECONDO
Modellistica e dinamica dei campi	IINF-02/A ING-INF/02	6	PRIMO
Prototipazione Virtuale	IIND-03/B ING-IND/15	6	PRIMO
Bioinspired and Soft Robotics	IINF-04/A ING-INF/04	6	SECONDO

II ANNO - Insegnamenti autonoma per PdS di automatica approvazione					
Denominazione Insegnamento	SSD	Modulo	CFU	Semestre	CdS di riferimento
Automazione, Controllo e Ottimizzazione					
Un insegnamento della scelta curriculare comune di Tabella I			6	PRIMO/SECONDO	LM Ing. dell'Automazione e Robotica
Control architectures for autonomous driving (**)	IINF-04/A ING- INF/04	Control systems for autonomous ground vehicles	6	PRIMO	LM Autonomous Vehicle Engineering
Control architectures for autonomous driving (**)	IINF-04/A ING- INF/04	Mobile robots	6	SECONDO	
Control lab	IINF-04/A ING- INF/04		6	PRIMO	LM Ing. dell'Automazione e Robotica
Nonlinear systems	IINF-04/A ING- INF/04		9	SECONDO	LM Math. Eng.
Planning and navigation	INFO-01/A INF/01		6	SECONDO	LM Ing. dell'Automazione e Robotica
Progettazione di controllori industriali robusti e applicazioni	IINF-04/A ING- INF/04		6	PRIMO	LM Ing. dell'Automazione e Robotica
Robotics lab	IINF-04/A ING- INF/04		6	PRIMO	LM Ing. dell'Automazione e Robotica
Bioingegneria					
Robotica medica (***)	IBIO-01/A ING- INF/06		9	PRIMO	LM Ing. Biomedica
Sistemi di controllo fisiologici	IBIO-01/A ING-INF/06		9	PRIMO	LM Ing. Biomedica
Elettrica ed Elettronica					
Circuiti per DSP	IINF-01/A ING- INF/01		9	PRIMO	LM Ing. Elettronica
Electric and hybrid vehicles	IIND-08/A ING-IND/32		6	SECONDO	LM Ing. Elettrica
Instrumentation and measurements for smartindustry	IMIS-01/B ING- INF/07		9	SECONDO	LM Ing. TLC e MD
Quantum Circuit Electrodynamics and Quantum Devices	IJET-01/A ING-IND/31		9	PRIMO	LM Ing. Elettronica
Modelli numerici per campi, circuiti e sistemi	IJET-01/A ING-IND/31		9	PRIMO	LM Ing. Elettronica
Piattaforme di Controllo in Real-Time per Azionamenti Elettrici	IIND-08/A ING-IND/32		6	SECONDO	LM Ing. dell'Automazione e Robotica
Plasmi e fusione termonucleare	IJET-01/A ING-IND/31		9	SECONDO	LM Ing. Elettrica
Power devices and circuits	IINF-01/A ING-INF/01		9	PRIMO	LM Ing. Elettronica
Produzione Industriale					
Progettazione e sviluppodì prodotto sostenibile	IIND-03/B ING- IND/15		9	PRIMO	LM Ing. Meccanica Prog. Prod.

Informatica					
Algorithms, data structures and machine learning	IINF-05/A ING- INF/05	Algorithms and data structures	6	PRIMO	LM Ing. Informatica
Algorithms, data structures and machine learning	IINF-05/A ING- INF/05	Machine learning	6	SECONDO	LM Ing. Informatica
Biometric systems	INFO-01/A INF/01		6	SECONDO	LM Informatica
Computer vision	INFO-01/A INF/01		6	PRIMO	LM Informatica
Distributed systems and IoT	IINF-05/A ING- INF/05		6	PRIMO	LM Ing. Informatica
Embedded systems	IINF-05/A ING-INF/05		6	SECONDO	LM Ing. Informatica
Human-robot interaction	IINF-05/A INF/01		6	PRIMO	LM Informatica
Information retrieval	IINF-05/A ING-INF/05		6	SECONDO	LM Ing. Informatica
Intelligent robotics	INFO-01/A INF/01		6	SECONDO	LM Informatica
Machine learning	INFO-01/A INF/01	Neural networks and deep learning	6	PRIMO	LM Informatica
Machine learning	INFO-01/A INF/01	Statistical learning	6	SECONDO	LM Informatica
Methods for artificial intelligence	INFO-01/A INF/01		6	SECONDO	LM Informatica
Social, ethical and psychological issues in artificial intelligence	INFO-01/A INF/01		6	PRIMO	LM Informatica
Telecomunicazioni					
Elaborazione dei segnali multimediali	IINF-03/A ING-INF/03		9	SECONDO	LM Ing. TLC e MD
Image processing for computer vision	IINF-03/A ING-INF/03		9	PRIMO	LM Ing. TLC e MD
Ingegneria del suono	IINF-03/A ING-INF/03		6	PRIMO	LM Ing. TLC e MD
Quantum information	IINF-03/A ING-INF/03		6	PRIMO	LM Ing. TLC e MD
Radiolocalizzazione Terrestre e satellitare	IINF-03/A ING-INF/03		9	PRIMO	LM Ing. TLC e MD
Sistemi radar	IINF-03/A ING-INF/03		9	PRIMO	LM Ing. TLC e MD
Tomografia e imaging: principi, algoritmi e metodi numerici	IINF-02/A ING-INF/02		9	PRIMO	LM Ing. TLC e MD
Trasmissione dei segnali digitali	IINF-03/A ING-INF/03		9	PRIMO	LM Ing. Informatica

(**) Gli studenti che optano per l'insegnamento integrato di Control Architectures for autonomous driving (12 CFU) non potranno scegliere l'insegnamento integrato di Advanced Robotics e, pertanto, non potranno optare per il percorso di Robotics.

(***) Gli studenti che optano per l'insegnamento di Bioinspired and Soft Robotics (6 CFU) non potranno scegliere l'insegnamenti di Robotica medica.

LEGENDA

Tipologia di Attività Formativa (TAF):

B = Caratterizzanti

C = Affini o integrativi

D = Attività a scelta

E = Prova finale e conoscenze linguistiche

F = Ulteriori attività formative

Attività formativa curriculare a scelta comune ad entrambi i percorsi

Attività formativa curriculare a scelta - Percorso Automation & Control Engineering

Attività formativa curriculare a scelta - Percorso Robotics

Note al Piano di Studi

Gli studenti iscritti alla Laurea Magistrale in Ingegneria dell'Automazione e Robotica che vogliano seguire il percorso di studi statutario non devono presentare piano di studi.

Personalizzazione del piano di studi

Nel caso in cui lo studente voglia inserire come scelta autonoma degli insegnamenti diversi da quelli di automatica approvazione dovrà compilare il piano di studi. Maggiori informazioni al link <https://ingegneria-automazione.dieti.unina.it/index.php/it/servizi-agli-studenti/modulistica/13-servizi-agli-studenti/modulistica/440-manifesti-degli-studi>

Attività di tirocinio curriculare

Il Corso di Studi prevede 6 CFU di “Ulteriori Conoscenze” che possono essere acquisite dall’allievo nell’ambito del lavoro per la preparazione della Tesi.

Le “Ulteriori conoscenze” possono altresì essere acquisite mediante tirocini extramoenia o intramoenia.

Il tirocinio extramoenia è svolto presso aziende, centri di ricerca o altri enti pubblici e/o privati, italiani o esteri, con affiancamento di un tutor dell’azienda o dell’ente e la supervisione di un tutor universitario.

Il tirocinio intramoenia è svolto presso laboratori di ricerca dell’ateneo con affiancamento di un tutor universitario (docente o ricercatore).

Attività per la preparazione e lo svolgimento della prova finale

La Laurea in Ingegneria dell’Automazione si consegue dopo aver superato una prova finale alla quale si viene ammessi una volta conseguiti tutti i crediti previsti dal proprio piano di studi esclusi quelli relativi alla prova finale stessa. Tale prova consiste nella valutazione della Tesi di Laurea Magistrale, consistente in una relazione scritta (eventualmente in lingua inglese) avente per oggetto un progetto originale sviluppato dallo studente in modo autonomo sotto la guida di un relatore e eventuali co-relatori.

La prova finale è sostenuta dal Candidato innanzi a una Commissione presieduta dal Coordinatore del Corso di Studi e consiste nella presentazione del lavoro svolto sotto la guida di un docente Relatore e nella successiva discussione con i componenti della Commissione.

Al candidato è consentito di avvalersi di un supporto audio-visivo, da proiettare pubblicamente, oppure, in alternativa, di redigere un fascicoletto di sintesi, da consegnare in copia a ciascun componente della Commissione.

Al termine della presentazione, ciascun docente può rivolgere osservazioni al candidato, inerenti all’argomento del lavoro di tesi. La presentazione ha una durata compresa di norma in 15 minuti.

Periodi di formazione all’estero – Programmi ERASMUS

Il Corso di Studi offre molte opportunità di formazione all’estero. Oltre ai programmi di scambio Erasmus, per i quali si rimanda al portale del Dipartimento di Ingegneria Elettrica e delle Tecnologie dell’Informazione al link <http://erasmus.dieti.unina.it/> per maggiori informazioni, nella sezione di *Avvisi agli Studenti* del sito del Corso di Studi vengono proposte varie opportunità di toriconio e/o tesi all’estero (<https://ingegneria-automazione.dieti.unina.it/index.php/it/avvisi/avvisi-agli-studenti>)

Percorsi speciali

I laureati magistrali in Ingegneria dell’Automazione e Robotica possono accedere alla Doppia Laurea Magistrale Interna in Mathematical Engineering acquisendo 51 CFU aggiuntivi.

Per maggiori informazioni contattare il Coordinatore del Corso di Studi oppure consultare il link <https://ingegneria-automazione.dieti.unina.it/index.php/it/corsi-di-studio/doppia-laurea-magistrale-interna>

Nota alla schede degli insegnamenti

In questa guida sono riportate le sole schede relativi agli insegnamenti incardinati nel Corso di Studi di Ingegneria dell’Automazione e Robotica. Per le schede degli insegnamenti a scelta autonoma dello studente di automatica approvazione mutuati da altri corsi di studio, si faccia riferimento alla guida del corso di studi di riferimento riportato nella precedente tabella.

Orientamento e Tutorato

Orientamento in ingresso

Il futuro studente può raccogliere informazioni interagendo direttamente con personale universitario delegato all'orientamento, in eventi on-line ed in presenza, che si sviluppano durante l'anno.

Sul sito di Ateneo al portale www.orientamento.unina.it è disponibile il calendario dei singoli eventi, che è anche riportato sul sito della Scuola Politecnica e delle Scienze di base (PSB), www.scuolapsb.unina.it sezione orientamento.

In particolare, il Corso di Studi organizza varie iniziative di orientamento in ingresso coordinate a livello Dipartimentale, di Scuola e di Ateneo.

Ogni anno viene organizzato l'evento Magistrali@SPSB in cui vengono mostrati: l'offerta didattica delle lauree magistrali, gli sbocchi professionali e le opportunità di tesi e tirocini. Le registrazioni Youtube di tali eventi sono reperibili anche successivamente tramite il sito della SPSB riportato nelle sezioni precedenti.

Nel periodo gennaio-settembre si svolge on-line la serie di eventi "Futuri Studenti", le cui istruzioni di accesso sono riportate ai link sopra. Sarà possibile interagire con docenti universitari per porre domande specifiche sugli sbocchi professionali associati a ciascun percorso, su come vivere pienamente l'esperienza universitaria e ricevere informazioni specifiche sui vari percorsi di studio.

Nel periodo marzo-luglio sono organizzati gli eventi "Open Days" per visitare in presenza le strutture o assistere ad eventi specifici. Le date di questi eventi sono fornite durante l'evento "Porte Aperte" e le modalità di partecipazione possono essere reperite sul sito del Dipartimento di Ingegneria Elettrica e delle Tecnologie dell'Informazione (www.dieti.unina.it).

Orientamento e tutorato in itinere

L'orientamento in itinere viene svolto essenzialmente attraverso incontri organizzati dal Corso di Studi all'inizio di ogni anno accademico per presentare l'offerta didattica a scelta. Tali incontri vengono pubblicizzati attraverso il sito web del Corso di Studi (<https://ingegneria-automazione.dieti.unina.it/>) e i relativi canali social.

Orientamento in uscita e attività di placement

Il Corso di Studi organizza attività di orientamento in uscita in maniera coordinata con il proprio Dipartimento, con la Scuola Politecnica e delle Scienze di Base (SPSB) e l'Ateneo.

Sul sito www.orientamento.unina.it è disponibile una lista di opportunità per tirocini extra-curricolari (i.e. post-laurea) e offerte di lavoro. Inoltre, la SPSB gestisce una piattaforma dinamica di job placement, all'indirizzo www.jobservice.unina.it. La piattaforma è rivolta a studenti e aziende per favorire l'incontro tra l'offerta e la richiesta di tirocini curriculari (pre-laurea), tirocini extra-curricolari (post-laurea) e lavoro.

Allo scopo di ridurre i tempi del placement e rendere la scelta lavorativa più consapevole, in primavera, il Corso di Studi contribuisce all'evento della SPSB "Career Day@SPSB", generalmente in presenza. Durante questo evento gli studenti e i neo-laureati hanno modo di approfondire di persona i domini produttivi delle singole aziende e i profili lavorativi offerti.

Inoltre, la presentazione delle opportunità professionali e degli sbocchi lavorativi e di ricerca è promossa anche attraverso seminari tematici, organizzati dal Corso di Studi durante l'anno e pubblicizzati attraverso canali di comunicazione del Corso di Studi stesso (<https://ingegneria-automazione.dieti.unina.it/index.php/it/avvisi/avvisi-agli-studenti>).

Calendario, scadenze e date da ricordare

Termini e scadenze

Le modalità per l'immatricolazione e l'iscrizione agli anni successivi sono rese note con una specifica Guida alla iscrizione e al pagamento delle tasse pubblicata alla URL:

<https://www.unina.it/didattica/sportello-studenti/guide-dello-studente>

Ulteriori scadenze (termini per la presentazione dei piani di studio, termini per la presentazione delle candidature ERASMUS, etc.) sono segnalate nella sezione avvisi del sito del Corso di Studi:

<https://ingegneria-automazione.dieti.unina.it/index.php/it/avvisi/avvisi-agli-studenti>

Calendario delle attività didattiche e degli esami di profitto

Il calendario didattico del Corso di Studi viene reso disponibile sui siti web della Scuola, del Dipartimento e del Corso di Studi, prima dell'inizio delle lezioni.

Link al calendario didattico:

<https://ingegneria-automazione.dieti.unina.it/index.php/it/servizi-agli-studenti/calendario-attivita-didattiche>

Link al calendario degli esami di profitto:

<https://ingegneria-automazione.dieti.unina.it/index.php/it/servizi-agli-studenti/calendario-degli-esami>

Orario delle attività formative

I corsi sono erogati nei plessi di Napoli Ovest, a Fuorigrotta. L'orario dettagliato è consultabile al link

http://easyacademy.unina.it/agendastudenti/index.php?view=easycourse&_lang=it

Calendario delle sedute di laurea

Il Calendario dettagliato è disponibile sul portale della Scuola Politecnica e delle Scienze di Base al link

<https://www.scuolapsb.unina.it/esame-di-laurea-collegio-degli-studi-di-ingegneria/>

Referenti del Corso di Studi

Coordinatore Didattico: Prof. Pietro De Lellis;
tel. 081/7683853; e-mail: pietro.delellis@unina.it

Vice Coordinatore: Prof. Fabio Ruggiero (fabio.ruggiero@unina.it)

Referente Programma ERASMUS: Prof. Francesco Lo Iudice (francesco.loiudice2@unina.it)

Segreteria Didattica dipartimentale: uff.didattica.dieti@unina.it

Contatti e Strutture

Indicazione della Sede (georeferenziata, **clicare sui link**)

I corsi sono erogati nei plessi di Napoli Ovest a Fuorigrotta.

Polo Fuorigrotta

- [Via Claudio 21](#)
- [Via Nuova Agnano 11](#)

Sito web del Corso di Studi

<https://ingegneria-automazione.dieti.unina.it/>

Canali Social ufficiali del Corso di Studi

Pagina Facebook

<https://www.facebook.com/Automazione-UNINA-880210735350675/>

Profilo Twitter

<https://twitter.com/AutomaUNINA>

Canale Telegram

<https://t.me/AutomaUNINA>

Sito web del Dipartimento

<https://www.dieti.unina.it/index.php/it/>

Sito web della Scuola

<http://www.scuolapsb.unina.it/>

Sito web di Ateneo

<http://www.unina.it/home>

Portale Orientamento

<http://www.orientamento.unina.it/>

Schede degli insegnamenti

ADVANCED CONTROL ENGINEERING SSD IINF-04/A

EVENTUALI PREREQUISITI

Conoscenze di base sui sistemi di controllo a ciclo chiuso.

OBIETTIVI FORMATIVI

Il corso ha lo scopo di fornire agli studenti:

- gli strumenti per l'analisi e il controllo di reti di agenti dinamici, con particolare riferimento all'ottimizzazione ed alla sicurezza delle stesse, ed al loro possibile utilizzo in fase di progettazione o di gestione di sistemi a rete in diversi domini applicativi di interesse ingegneristico;
- gli strumenti formali per la modellistica, la verifica e il controllo dei sistemi ad eventi discreti.

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI (DESCRITTORI DI DUBLINO)

Conoscenza e capacità di comprensione

Modulo di Discrete Event Systems and Supervisory Control

Il percorso formativo intende fornire agli studenti gli strumenti metodologici per l'analisi del comportamento dei Sistemi ad Eventi Discreti (SED), vale a dire di sistemi dinamici il cui spazio di stato è discreto e la cui evoluzione dipende dall'occorrenza di eventi asincroni. Si introdurranno, inoltre, gli strumenti per la sintesi di leggi di supervisione. In particolare, gli strumenti di modellistica adottati saranno gli automi e le reti di Petri. Lo studente deve dimostrare di avere appreso le peculiarità dei SED e di saperne analizzare il comportamento.

Modulo di Control of Complex Systems and Networks

Durante il percorso formativo lo studente deve acquisire gli strumenti metodologici essenziali per la modellazione, analisi e il controllo di sistemi complessi che possono essere studiati come reti di sistemi dinamici interconnessi. Il percorso formativo guiderà gli studenti verso la comprensione dei legami tra le proprietà topologiche del grafo che descrive la rete e la dinamica individuale dei nodi, individuando i legami causali che determinano l'emergenza spontanea di comportamenti collettivi, quali ad esempio il consenso e la sincronizzazione. Gli strumenti analitici e numerici acquisiti dagli studenti saranno poi utilizzati per comprendere le peculiarità nella progettazione di leggi di controllo per sistemi su rete.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione

Modulo di Discrete Event Systems and Supervisory Control

Lo studente deve dimostrare di sapere modellare processi reali, come sistemi manifatturieri, sistemi di logistica, e sistemi IT, attraverso l'utilizzo di automi e reti di Petri. Lo studente, inoltre, deve dimostrare di saper formalizzare specifiche di controllo di supervisione e di riuscire a sintetizzare il controllore corrispondente.

Modulo di Control of Complex Systems and Networks

Lo studente deve essere in grado di applicare la metodologia acquisita per modellare ed analizzare sistemi reali che possono essere interpretati in termini di reti complesse, come ad esempio reti di sensori wireless, dinamiche di popolazione, formazioni di veicoli autonomi. Inoltre, gli studenti dovranno essere in grado di

applicare le tecniche di controllo apprese per progettare controllori di sistemi complessi in presenza di vincoli sul numero di segnali in ingresso e nodi osservabili della rete.

PROGRAMMA-SYLLABUS

Modulo di Discrete event systems and supervisory control

- 1 Introduzione
 - 1.1 Sistemi e modelli
 - 1.2 Concetto di stato e modelli dinamici
 - 1.3 Sistemi ad eventi discreti
 - 1.4 Modelli logici, temporizzati e stocastici
- 2 Linguaggi e automi
 - 2.1 Definizione di linguaggio
 - 2.2 Operazioni definite sui linguaggi
 - 2.3 Definizione di automa
 - 2.4 Linguaggi generati e marcati da automi
 - 2.5 Operazioni definite sui automi
 - 2.6 Riconoscitore canonico di un linguaggio regolare
 - 2.7 Stati equivalenti e minimizzazione dello spazio di stato di un automa
 - 2.8 Automi logici non deterministici
 - 2.9 Automa osservatore
 - 2.10 Diagnosticabilità per automi a stati finiti e automa diagnosticatore
 - 2.11 Espressioni regolari
 - 2.12 Le classi dei linguaggi regolari e dei linguaggi riconoscibili: il teorema di Kleene
 - 2.13 Pumping lemma per linguaggi regolari
 - 2.14 Grammatiche di Chomsky – cenni
 - 2.15 Decidibilità e complessità – cenni
- 3 Automi temporizzati deterministici
 - 3.1 Definizione di struttura di temporizzazione deterministica
 - 3.2 Definizione di automa temporizzato deterministico
 - 3.3 Evoluzione temporale di una automa temporizzato deterministico
- 4 Automi temporizzati stocastici – cenni
- 5 Reti di Petri
 - 5.1 Definizione di rete di Petri e di sistema rete di Petri
 - 5.2 Linguaggio generato da una rete di Petri
 - 5.3 Insieme di raggiungibilità e equazione di stato
 - 5.4 Reti etichettate e linguaggio generati e marcati da reti etichettate
 - 5.5 Grafo di raggiungibilità e grafo di copertura
 - 5.6 Proprietà comportamentali: raggiungibilità, limitatezza, conservatività, ripetitività, reversibilità, vivezza e blocco
 - 5.7 Proprietà strutturali: P e T invarianti; sifoni e trappole
 - 5.8 Stima dell'insieme di raggiungibilità mediante equazione di stato e vettori invarianti
 - 5.9 Osservabilità per sistemi di Petri con marcatura iniziale incerta: the observer coverability graph
 - 5.10 K-diagnosticabilità per reti di Petri limitate
 - 5.11 Classi di reti di Petri e sottoclassi di reti ordinarie
- 6 Reti di Petri temporizzate – cenni
- 7 Controllo supervisivo
 - 7.1 Specifiche di controllo
 - 7.2 Concetto di supervisore
 - 7.3 Controllo supervisivo in presenza di eventi non controllabili e condizione di ammissibilità

- 7.4 Controllo supervisivo in presenza di eventi non controllabili e non osservabili. Supervisore parziale
- 7.5 Traduzione di specifiche di controllo in automi
- 7.6 Teorema di controllabilità
- 7.7 Controllabilità
- 7.8 Realizzazione di supervisori mediante automi a stati finiti
- 7.9 Supremal controllable sublanguage e Infimal prefix-closed and controllable superlanguage
- 7.10 Basic Supervisory Control Problem e Dual Basic Supervisory Control Problem
- 7.11 Teorema di controllabilità e non bloccaggio
- 8 Controllo di reti di Petri mediante monitor
 - 8.1 Vincoli GMEC
 - 8.2 Posti monitor
 - 8.3 Sistema a ciclo chiuso e condizione di realizzabilità
 - 8.4 Reti con transizioni non controllabili

Modulo di Control of complex systems and networks

Parte 1 Introduzione e richiami

- 1 Introduzione
 - 1.1 Definizione di sistema complesso
 - 1.2 Reti complesse di sistemi dinamici
 - 1.3 Esempi: reti di sensori wireless e sistemi compartimentali
- 2 Richiami di teoria delle matrici
 - 2.1 Matrici convergenti e semi-convergenti; classificazione degli autovalori
 - 2.2 Proprietà spettrali delle matrici stocastiche
 - 2.3 Teorema dei dischi di Geršgorin
 - 2.4 Teorema di Perron-Frobenius
 - 2.5 Esempi

Parte 2 Teoria dei grafi

- 3 Elementi di teoria dei grafi
 - 3.1 Grafi orientati e non orientati
 - 3.2 Definizioni fondamentali
 - 3.3 Percorsi, connettività e periodicità
 - 3.4 Grafo di condensazione
 - 3.5 Grafi pesati
 - 3.6 Matrice di adiacenza
- 4 Legami tra grafi e matrici
 - 4.1 Matrice di adiacenza e sue proprietà
 - 4.2 Alcune equivalenze elementari
 - 4.3 Percorsi nel grafo e potenze della matrice di adiacenza
 - 4.4 Grafi e matrici irriducibili
 - 4.5 Grafi e matrici primitive

Parte 3 Analisi e controllo di reti di sistemi dinamici lineari: il problema del consenso

- 5 Problema del consenso a tempo discreto
 - 5.1 Rete di integratori a tempo discreto
 - 5.2 Definizione di consenso
 - 5.3 Condizioni topologiche per il consenso in reti tempo-invarianti
 - 5.4 Esempio: modello di popolazione di Leslie
- 6 Problema del consenso a tempo continuo
 - 6.1 Matrice Laplaciana di un grafo: definizione e proprietà
 - 6.2 Esempio: dinamiche collettive in gruppi animali
 - 6.3 Rete di integratori a tempo continuo

- 6.4 Rango della matrice Laplaciana ed equilibri della rete
- 6.5 Nodi globalmente raggiungibili ed emergenza consenso
- 6.6 Condizioni topologiche per il consenso in reti tempo-invarianti
- 7 Velocità di convergenza al consenso
 - 7.1 Fattore di convergenza ad un passo
 - 7.2 Fattore di convergenza asintotico
 - 7.3 Legame tra velocità di convergenza e proprietà del grafo
- 8 Problemi di consenso su reti tempo-varianti
 - 8.1 Esempi di reti tempo-varianti
 - 8.2 Convergenza su grafi tempo-varianti connessi ad ogni istante
 - 8.3 Convergenza su grafi tempo-varianti connessi in una finestra temporale
- Parte 4 Reti di sistemi dinamici non-lineari: sincronizzazione
- 9 Reti di sistemi dinamici non-lineari
 - 9.1 Modellazioni e ipotesi fondamentali
 - 9.2 Modello standard di una rete complessa
 - 9.3 Esempi
- 10 Sincronizzazione
 - 10.1 Definizione
 - 10.2 Esempi: oscillatori di Kuramoto
 - 10.3 Analisi di stabilità basata su funzioni di Lyapunov
 - 10.4 Condizioni per la sincronizzazione
 - 10.5 Ipotesi su campo vettoriale e topologia
- Parte 5 Controllo di reti complesse non-lineari
- 11 Controllo decentralizzato di reti complesse
 - 11.1 Controllo centralizzato e decentralizzato
 - 11.2 Controllabilità delle reti
 - 11.3 Controllo 'pinning'
 - 11.4 Controllo parziale di una rete
- 12 Problemi emergenti e tecniche di controllo avanzato delle reti
 - 12.1 Cenni su controllo adattativo delle reti
 - 12.2 Controllo di reti dipendenti dallo stato
 - 12.3 Coevoluzione di topologia e stato dei nodi
 - 12.4 Applicazioni emergenti

MATERIALE DIDATTICO

Modulo di Discrete event systems and supervisory control

C. G. Cassandras e S. Lafontaine, Introduction to Discrete Event Systems. Springer, 2008.

A. Di Febbraro e A. Giua, Sistemi ad eventi discreti. McGraw-Hill, 2002.

Control of Discrete-Event Systems. Springer, 2013.

Materiale disponibile alla pagina <http://wpage.unina.it/detommas/dssc.html>

Modulo di Control of complex systems and networks

- F. Bullo, Lectures on Network Systems, Edizione 1.3, 2019.

- M. E. J. Newman, A. L. Barabasi, and D. J. Watts, The structure and dynamics of networks, Princeton University Press, 2006.

- Materiale addizionale e appunti delle lezioni disponibili nella sezione *file* della classe Teams del corso

Per approfondimenti:

- Siljak, D. D. Decentralized control of complex systems. Courier Corporation, 2011.

- A. Barrat, M. Barthélemy, A. Vespignani, Dynamical Processes on Complex Networks, Cambridge University Press, 2008.

- Uri Alon lab dataset. Disponibile su <http://www.weizmann.ac.il>

- Pajek's dataset. Disponibile su <http://vlado.fmf.uni-lj.si/pub/networks/data>

MODALITÀ DI SVOLGIMENTO DELL'INSEGNAMENTO

Modulo di Discrete event systems and supervisory control

Il docente utilizzerà: a) lezioni frontali per circa il 70% delle ore totali, b) esercitazioni in aula mediante l'utilizzo di strumenti di analisi e simulazione (UMDES, TINA, ecc.) per circa il 30% delle ore totali.

Modulo di Control of complex systems and networks

Il docente utilizzerà: a) lezioni frontali per circa il 70% delle ore totali, b) esercitazioni in aula mediante l'utilizzo di strumenti di analisi e simulazione (Matlab-Simulink) per circa il 30% delle ore totali.

VERIFICA DI APPRENDIMENTO E CRITERI DI VALUTAZIONE

Modalità di esame:

L'esame si articola in prova	
scritta e orale	
solo scritta	
solo orale	X
discussione di elaborato progettuale	
altro	

In caso di prova scritta i quesiti sono	A risposta multipla	
	A risposta libera	
	Esercizi numerici	

Entrambi i moduli prevedono solo la prova orale. Ciascun colloquio orale consiste nella discussione di una tesina assegnata dal docente e nell'accertamento dell'acquisizione dei concetti e dei contenuti introdotti durante le lezioni.

Modalità di valutazione:

Il voto finale sarà ponderato sui CFU di ciascun modulo e quindi così composto:

- Modulo di Discrete event systems and supervisory control, 6 CFU, 50%
- Modulo di Control of complex systems and networks, 6 CFU, 50%

ADVANCED ROBOTICS

SSD IINF-04/A

INSEGNAMENTI PROPEDEUTICI (se previsti dall'Ordinamento del CdS)

Foundations of Robotics

Nonlinear Dynamics and Control

EVENTUALI PREREQUISITI

Conoscenze sui fondamenti della robotica

OBIETTIVI FORMATIVI

Il corso ha lo scopo di fornire agli studenti:

- Competenze per il controllo dell'interazione tra robot e ambienti scarsamente strutturati, attraverso il controllo di forza, il controllo visuale, la manipolazione e la cooperazione
- Gli strumenti per la modellistica, pianificazione e controllo di robot mobili (con ruote, droni, su gambe, sottomarini) a guida autonoma

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI (DESCRITTORI DI DUBLINO)

Conoscenza e capacità di comprensione

Modulo: Robot Interaction Control

Il percorso formativo intende fornire agli studenti gli strumenti metodologici per il controllo di robot nell'interazione con ambienti scarsamente strutturati. a modellistica, la pianificazione e il controllo dei robot. Vengono introdotte le tecniche di controllo in forza e controllo visuale per manipolatori rigidi e di controllo per manipolatori con giunti elastici, nonché le tecniche per il controllo della manipolazione e della cooperazione di sistemi robotici. Lo studente deve dimostrare di avere appreso le soluzioni al problema del controllo dell'interazione sulla base delle tecniche studiate nel corso.

Modulo: Field and Service Robotics

Il percorso formativo intende fornire agli studenti gli strumenti metodologici essenziali per la modellazione, la pianificazione e il controllo di sistemi di robot mobili a guida autonoma. Vengono trattati i problemi fondamentali riguardanti i robot con meccanismi di locomozione in spazi aperti, strutturati e non. I metodi analitici acquisiti dagli studenti sono poi utilizzati per comprendere le peculiarità nella progettazione di tecniche di pianificazione e leggi di controllo per tali robot.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione

Modulo: Robot Interaction Control

Lo studente deve dimostrare di saper applicare le metodologie acquisite per modellare e controllare sistemi robotici nell'interazione con l'ambiente

Modulo: Field and Service Robotics

Lo studente deve dimostrare di saper applicare le metodologie acquisite per modellare, pianificare e controllare robot a guida autonoma con differenti meccanismi di locomozione, come rover terrestri, droni (in particolare quadricotteri), robot sottomarini, robot quadrupedi e bipedi

PROGRAMMA/SYLLABUS

Modulo: Robot Interaction Control

- Interazione di un manipolatore con l'ambiente
- Controllo di cedevolezza
- Controllo di impedenza
- Controllo di forza
- Controllo parallelo forza/moto
- Moto vincolato
- Vincoli naturali e vincoli artificiali
- Controllo ibrido forza/moto
- Visione per il controllo
- Elaborazione dell'immagine
- Stima della posa
- Visione stereo e calibrazione di una telecamera
- Controllo visuale nello spazio operativo
- Controllo visuale nello spazio delle immagini
- Controllo visuale ibrido
- Modellistica di manipolatori con giunti elastici
- Controllo di manipolatori con giunti elastici
- Manipolazione robotica
- Modelli di contatto
- Modelli di attrito
- Definizione delle prese
- Forze interne e forze esterne
- Modelli cinematico e dinamico di un sistema costituito da robot cooperanti e oggetto manipolato
- Controllo e pianificazione di un compito di manipolazione

Modulo: Field and Service Robotics

- Robotica per l'esplorazione e robotica di servizio
- Robot su ruote
- Cinematica e dinamica
- Pianificazione
- Controllo del moto
- Localizzazione odometrica
- Pianificazione del moto
- Pianificazione probabilistica
- Pianificazione attraverso il metodo dei potenziali artificiali
- Robotica aerea
- Cinematica dei droni
- Dinamica di un quadricottero
- Controllo gerarchico e controllo geometrico
- Controllo passivo con stimatore di disturbi esterni
- Robotica sottomarina
- Cinematica e dinamica
- Controllore misto
- Robot su gambe
- Cinematica della base flottante
- Dinamica e dinamica centroidale
- Stabilità e criteri
- Controllo whole-body
- Pianificatore

- Stimatore basato sulla quantità di moto

MATERIALE DIDATTICO

Modulo: Robot Interaction Control

- B. Siciliano, L. Sciavicco, L. Villani, G. Oriolo, Robotics – Modeling, Planning and Control, Springer, London, 2009, ISBN 978-1-84628-641-4
- B. Siciliano, O. Khatib (Eds.), Springer Handbook of Robotics, 2nd Edition, Springer, Berlin, 2016 ISBN 978-3-319-32552-1
- B. Siciliano, O. Khatib, T. Kröger, Multimedia Extension to Springer Handbook of Robotics, 2016.
- Materiale disponibile alla pagina <https://prisma.dieti.unina.it/index.php/education/education-courses/723-robot-interaction-control>

Modulo: Field and Service Robotics

- B. Siciliano, L. Sciavicco, L. Villani, G. Oriolo, Robotics – Modeling, Planning and Control, Springer, London, 2009, ISBN 978-1-84628-641-4
- A. Ollero, B. Siciliano (Eds.), Aerial Robotic Manipulation, Springer, Berlin, 2019, ISBN 978-3-030-12945-3
- G. Antonelli, Underwater Robots, 3rd Ed., Springer, Berlin, ISBN 978-3-319-02877-4
- Materiale disponibile alla pagina <https://prisma.dieti.unina.it/index.php/education/education-courses/18-education/education-courses/722-field-and-service-robotics>

MODALITÀ DI SVOLGIMENTO DELL'INSEGNAMENTO

Modulo: Robot Interaction Control

Il docente utilizzerà: a) lezioni frontali per circa il 70% delle ore totali, b) esercitazioni in aula per circa il 20% delle ore totali, c) seminari per il 10% circa delle ore totali

Modulo: Field and Service Robotics

Il docente utilizzerà: a) lezioni frontali per circa il 70% circa delle ore totali, b) seminari per il 20% circa delle ore totali; c) esempi in aula mediante l'utilizzo di strumenti di analisi e simulazione in Matlab/Simulink® per circa il 10% delle ore totali

VERIFICA DI APPRENDIMENTO E CRITERI DI VALUTAZIONE

Modalità di esame:

L'esame si articola in prova	
scritta e orale	
solo scritta	
solo orale	X
discussione di elaborato progettuale	X
altro	

In caso di prova scritta i quesiti sono	A risposta multipla	
	A risposta libera	

	Esercizi numerici	
--	-------------------	--

Entrambi i moduli prevedono la prova orale. Il colloquio consiste nell'accertamento dell'acquisizione dei concetti e dei contenuti introdotti durante le lezioni. Il colloquio orale del modulo di Field and Service Robotics include anche la discussione di un elaborato progettuale assegnato dal docente durante il primo mese del corso.

Modalità di valutazione:

Il voto finale sarà ponderato sui CFU di ciascun modulo e quindi così composto:

- Modulo: Robot Interaction Control, 6 CFU, 50%
- Modulo: Field and Service Robotics, 6 CFU, 50%

DISTRIBUTED CONTROL AND CYBER-PHYSICAL SYSTEMS DESIGN SSD IINF-04/A

EVENTUALI PREREQUISITI

Conoscenze di base sui sistemi di controllo a ciclo chiuso.

OBIETTIVI FORMATIVI

Il corso ha lo scopo di:

- fornire allo studente le competenze per l'analisi, la progettazione e il dimensionamento dei "sistemi di controllo su rete" (Networked Control Systems-NCSs) e dei "sistemi cyber-fisici" (Cyber-Physical Systems-CPSs) impiegati per il monitoraggio e il controllo dei processi distribuiti su rete;
- approfondire la progettazione di metodi e algoritmi distribuiti e resilienti, inclusi quelli basati sull'Intelligenza Artificiale, per la stima, il controllo e l'ottimizzazione dei moderni sistemi cyber-fisici presenti in ambito industriale (Smart Factory, Industria 5.0 e Automazione intelligente, sistemi di elaborazione distribuita, Internet of Things) e civile/sociale (Smart City, reti di trasporto ed energia, infrastrutture complesse, flotte di veicoli, velivoli e droni autonomi);
- illustrare le metodologie introdotte attraverso esempi di progettazione integrata software/hardware di rappresentativi sistemi cyber-fisici.

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI (DESCRITTORI DI DUBLINO)

Conoscenza e capacità di comprensione

Il percorso formativo intende fornire agli studenti gli strumenti metodologici per l'analisi e la progettazione software/hardware dei moderni sistemi di controllo su rete e dei sistemi cyber-fisici. Lo studente deve dimostrare di avere appreso quali sono i requisiti peculiari delle componenti software e hardware dei sistemi di controllo su rete e dei sistemi cyber-fisici dedicati al monitoraggio e controllo dei principali processi industriali e civili. Lo studente dovrà inoltre dimostrare la conoscenza delle fasi principali della progettazione integrata software/hardware di un sistema cyber-fisico e della sintesi dei relativi algoritmi distribuiti di controllo, stima e ottimizzazione. Lo studente deve infine dimostrare di aver compreso il ruolo delle tecniche di validazione degli algoritmi e di valutazione delle performance di un sistema cyber-fisico mediante strumenti di simulazione.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione

Lo studente deve dimostrare di sapere formalizzare le specifiche di funzionamento di un sistema di controllo su rete e di un sistema cyber-fisico individuando i requisiti prestazionali del sistema di controllo e della rete, anche in termini di autonomia energetica. A partire dalle specifiche formali di rappresentativi sistemi cyber-fisici, poi, lo studente deve dimostrare di sapere sviluppare semplici algoritmi distribuiti per il monitoraggio, il controllo e l'ottimizzazione su rete, e di essere in grado di dimensionare i principali componenti hardware per la loro implementazione. Infine, lo studente

dovrà mostrare la capacità di progettare i test di validazione degli algoritmi e del sistema cyber-fisico nel suo complesso avvalendosi anche dell'utilizzo di semplici simulatori.

PROGRAMMA-SYLLABUS

1. Introduzione ai sistemi di controllo su rete e ai sistemi cyber-fisici
 - 1.1 Processi complessi, distribuiti su rete e su larga scala
 - 1.2 Sistemi di controllo remoto
 - 1.3 Architetture centralizzate, decentralizzate e distribuite
 - 1.4 Algoritmi distribuiti
 - 1.5 Definizione e specifiche dei sistemi cyber-fisici e degli algoritmi distribuiti
 - 1.6 Esempi applicativi
2. Modello multi-layer dei sistemi cyber-fisici
 - 2.1 Livello "applicazione"
 - 2.2 livello "rete"
 - 2.3 livello "fisico"
 - 2.4 Specifiche del livello applicazione, rete e fisico
3. Algoritmi distribuiti, progettazione e dimensionamento di un sistema cyber-fisico
 - 3.1 I sistemi multi-agente e gli algoritmi di consenso
 - 3.2 Progettazione del sistema di controllo a livello rete
 - 3.3 Sintesi di algoritmi distribuiti per il controllo di traffico, di congestione e bilanciamento del carico
 - 3.4 Progettazione del sistema di controllo a livello applicazione
 - 3.5 Sintesi di algoritmi cooperativi di stima, ottimizzazione e controllo su rete
 - 3.6 Autonomia energetica e "Energy Harvesting" in sistemi cyber-fisici. Algoritmi distribuiti di gestione energetica
 - 3.7 Algoritmi AI-based: Distributed Learning, federated Learning, Learning-based Distributed control
 - 3.8 Analisi di stabilità, convergenza e complessità computazionale degli algoritmi distribuiti
4. Resilienza e robustezza del sistema cyber-fisico e degli algoritmi distribuiti
 - 4.1 Effetti dei ritardi di comunicazione, delle perdite dati, del rumore di misura e di canale, e incertezze parametriche sulle prestazioni del sistema cyber-fisico
 - 4.2 Algoritmi distribuiti robusti, resilienti agli attacchi a livello di segnale e fault-tolerant
5. Algoritmi distribuiti per sistemi cyber-fisici basati su reti di sensori/sistemi embedded, reti di calcolatori, sistemi di elaborazione, flotte di droni e veicoli
6. Esempi di applicazione delle metodologie introdotte al progetto integrato software/hardware di rappresentativi sistemi cyber-fisici per le Smart City e le Smart Factory (Industria 5.0)

MATERIALE DIDATTICO

- [1] Appunti integrativi delle lezioni disponibili sul sito docenti
[2] S. Manfredi, "Multilayer Control of Networked Cyber-Physical Systems. Application to Monitoring, Autonomous and Robot Systems". Advances in Industrial Control, Springer, 2017
[3] A. Bemporad, M. Heemels, M. Vejdemo-Johansson, "Networked Control Systems", Lecture Notes in Control and Information Sciences, Springer, 2010

MODALITÀ DI SVOLGIMENTO DELL'INSEGNAMENTO

Il docente utilizzerà: a) lezioni frontali per circa il 50% delle ore totali, b) esercitazioni in aula mediante l'utilizzo di strumenti di simulazione e/o in laboratorio per circa il 50% delle ore totali

VERIFICA DI APPRENDIMENTO E CRITERI DI VALUTAZIONE

Modalità di esame:

L'esame si articola in prova	
scritta e orale	
solo scritta	
solo orale	X
discussione di elaborato progettuale	X
altro	

In caso di prova scritta i quesiti sono	A risposta multipla	
	A risposta libera	
	Esercizi numerici	

AZIONAMENTI ELETTRICI PER AUTOMAZIONE E ROBOTICA

SSD IIND-08/A

EVENTUALI PREREQUISITI

Conoscenze di base su:

- macchine elettriche;
- elettronica di potenza;
- convertitori statici di energia elettrica;
- sistemi di controllo a ciclo chiuso.

OBIETTIVI FORMATIVI

Obiettivo dell'insegnamento è quello di fornire agli studenti competenze avanzate sul dimensionamento, sul controllo e sull'esercizio di azionamenti elettrici con motori elettrici in corrente continua e alternata, che consentano sia l'analisi delle prestazioni energetiche e dinamiche di azionamenti già in esercizio, sia la scelta delle soluzioni più idonee nel caso di nuove installazioni, con particolare riferimento ai sistemi di automazione industriale.

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI (DESCRITTORI DI DUBLINO)

Conoscenza e capacità di comprensione

Lo studente deve dimostrare di:

- aver appreso gli strumenti metodologici per l'analisi e il dimensionamento sia dei singoli componenti di un azionamento elettrico - con particolare riferimento ai motori elettrici, ai convertitori statici di energia elettrica utilizzati per la loro alimentazione e ai relativi sistemi di controllo - sia dell'azionamento inteso come sistema collocato nell'ambito di un processo industriale;
- conoscere i punti di forza e le criticità dei differenti azionamenti elettrici basati su differenti tipologie di macchine elettriche, convertitori, sensoristica e strategie di controllo.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione

Lo studente deve dimostrare di:

- sapere utilizzare in autonomia gli strumenti metodologici acquisiti al fine individuare le soluzioni più idonee nel caso di nuove installazioni, con particolare riferimento ai sistemi di automazione industriale;
- saper implementare programmi di simulazione in ambiente Matlab/Simulink per l'analisi preventiva delle prestazioni dinamiche ed energetiche di un azionamento;
- sapere implementare su un PLC gli algoritmi di controllo di un azionamento utilizzando i linguaggi previsti dallo standard IEC 61131-3;
- saper applicare le conoscenze teoriche acquisite attraverso esercitazioni analitiche ed esperienze di laboratorio

PROGRAMMA-SYLLABUS

- Analisi dei componenti costituenti un azionamento elettrico
- Elementi di meccanica degli azionamenti
- Modellizzazione del comportamento termico degli azionamenti elettrici
- Normativa di riferimento
- Azionamenti con motore in corrente continua
 - controllo in regime stazionario
 - controllo in cascata
 - regolatori industriali
 - esempi di applicazioni
- Cenni sulle architetture digitali per sistemi di controllo programmabili
- impiego di microcontrollori per l'automazione industriale.
- Azionamenti con motore asincrono
 - modello della macchina asincrona in regime stazionario
 - caratteristiche di regolazione stazionarie
 - controllo tensione/frequenza
 - dominio limite di coppia
 - controllo della frequenza di scorrimento
- Inverter a tensione impressa controllato in corrente
- Tecniche di modulazione vettoriale per inverter a tensione impressa
- Modello dinamico della macchina asincrona
- Controllo vettoriale del motore asincrono
 - orientamento sul flusso di statore e rotore
 - controllo diretto ed indiretto
 - osservatori e stimatori del flusso
 - controllo diretto della coppia e del flusso
 - esempi di applicazioni
- Azionamenti DC brushless
 - caratteristiche costruttive e principio di funzionamento
 - strategie di alimentazione per il controllo della velocità
 - schemi di controllo half wave e full wave.
- Azionamenti AC brushless
 - caratteristiche costruttive e principio di funzionamento
 - strategie di alimentazione per il controllo della velocità
 - controllo ad orientamento di campo
 - dominio di regolazione coppia-velocità
 - esempi di applicazioni
- Inverter multilivello tipo NPC
- Motore asincrono monofase
- Motore universale
- Azionamenti con motori asincroni con rotore ad anelli: schemi Kraemer e Scherbius
- Attività di laboratorio incentrata sull'uso dei PLC per il controllo di azionamenti elettrici con motori asincroni e brushless
- Implementazione del programma di simulazione di un azionamento con motore asincrono/brushless e controllo vettoriale

MATERIALE DIDATTICO

W. Leonhard: Control of Electrical Drives, Springer Verlag

B.K. Bose: Power Electronics and AC Drives.

A. Del Pizzo: Azionamenti Elettrici, volumi 1 e 2, editore: Praise Worthy Prize

MODALITÀ DI SVOLGIMENTO DELL'INSEGNAMENTO

Il docente utilizzerà:

- lezioni frontali per circa l'80% delle ore totali
- esercitazioni in aula e in laboratorio per circa il 20% delle ore totali

VERIFICA DI APPRENDIMENTO E CRITERI DI VALUTAZIONE

Modalità di esame:

L'esame si articola in prova	
scritta e orale	
solo scritta	
solo orale	X
discussione di elaborato progettuale	X
altro	

L'esame si articola in due momenti distinti, seppur contigui dal punto di vista temporale:

- 1) verifica di un elaborato progettuale consistente in un programma di simulazione realizzato e implementato da ciascuno studente per la modellizzazione di azionamenti con motore asincrono/brushless e controllo vettoriale (peso 1/4);
- 2) tre domande teoriche relative ai contenuti fondamentali in cui si articola il corso (peso 3/4).

Modalità di valutazione:

La verifica del programma di simulazione di cui al precedente punto 1) ha come obiettivo l'accertamento della capacità dello studente di modellizzare correttamente un azionamento elettrico al fine di prevederne le prestazioni, sia energetiche che dinamiche, e di dimensionarne gli anelli di controllo.

Le domande di cui al punto 2) hanno l'obiettivo di evidenziare il livello di approfondimento e consapevolezza raggiunto dallo studente nello studio della materia.

BIOINSPIRED AND SOFT ROBOTICS

SSD IINF-04/A

EVENTUALI PREREQUISITI

Conoscenze di base sulle tecniche di programmazione; conoscenze di base sui sistemi di controllo a ciclo chiuso.

OBIETTIVI FORMATIVI

Il corso si pone l'obiettivo di fornire le nozioni e le basi di progettazione, realizzazione e controllo di sistemi robotici collaborativi. Oltre all'utilizzo di metodi per la modellazione e il controllo di sistemi robotici costituiti da catene cinematiche rigide, come alcuni robot manipolatori attualmente utilizzati in chirurgia e riabilitazione, saranno forniti metodi teorici per la modellazione e il controllo di sistemi che prevedono parti soffici integrate nella struttura o strutture completamente soffici, robot capaci di riconfigurarsi e adattarsi all'ambiente, nonché robot indossabili come protesi ed esoscheletri. Attraverso applicazioni pratiche delle conoscenze acquisite mediante l'utilizzo di simulatori per casi studio, saranno fornite conoscenze di base dei software più comuni usati per la programmazione di robot.

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI (DESCRITTORI DI DUBLINO)

Conoscenza e capacità di comprensione

Lo studente deve dimostrare di conoscere i sistemi robotici collaborativi, in particolare la struttura meccanica e le sue caratteristiche, i tipici sistemi di controllo e i software utilizzati per la programmazione. Lo studente deve dimostrare di aver acquisito le tecniche di modellazione e controllo di sistemi robotici caratterizzati da strutture soft che interagiscono in stretto contatto fisico con l'essere umano, includendo i sistemi mininvasivi per la chirurgia e i sistemi indossabili per la riabilitazione.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione

Lo studente deve dimostrare di saper progettare un sistema di controllo, scelto tra i sistemi classici studiati, per adattarlo ad una particolare applicazione medica. Lo studente deve essere in grado di saper implementare tale sistema di controllo utilizzando strumenti di simulazione forniti durante il corso. Inoltre, lo studente deve dimostrare di avere conoscenza di base di tipici strumenti open-source di prototipazione rapida, elettronica e stampa 3D.

PROGRAMMA-SYLLABUS

1. Introduzione alla robotica collaborativa: ambiti di utilizzo e stato dell'arte. 2. Soluzioni hardware per un sistema collaborativo: attuatori a impedenza variabile. 3. Teleoperazione: introduzione e definizione dei diversi schemi esistenti (unilaterale e bilaterale); metodi di rappresentazione e controllo di un sistema teleoperato; passività e stabilità; teoria del tank. 4. Interfacce aptiche: definizione e schemi di controllo. 5. Controllo condiviso e semi-autonomo: il controllo di impedenza nei robot collaborativi. 6. Autonomia supervisionata: architetture e interfacce di controllo. 7. Tecniche di apprendimento applicate al controllo condiviso. 8. Robot soft: modellazione e controllori.

MATERIALE DIDATTICO

B. Siciliano, O. Khatib (Eds.), Springer Handbook of Robotics, 2nd Edition, Springer, Berlin, 2016, ISBN 978-3-319-32552-1.

K.M. Lynch, F.C. Park, Modern Robotics: Mechanics, Planning, and Control, Cambridge University Press, 2017, ISBN 9781107156302.

J. Rosen, B. Hannaford, R.M. Satava (Eds.), Surgical Robotics: Systems, Applications, and Visions, Springer, 2011 ISBN 9781441911261.

A. Schweikard, F. Ernst, Medical Robotics, Springer, 2015, ISBN 9783319228914.

Appunti dalle lezioni, disponibili agli studenti iscritti al corso tramite Segrepass.

MODALITÀ DI SVOLGIMENTO DELL'INSEGNAMENTO

Il docente utilizzerà: a) lezioni frontali per circa il 70% delle ore totali, b) esercitazioni in aula mediante l'utilizzo di strumenti di simulazione di robot soft e/o robot per la chirurgia e la riabilitazione, basati su SOFA, ROS, Gazebo e CoppeliaSim, c) 2/3 seminari di 2 ore tenuti da medici, ricercatori robotici e rappresentanti dell'industria di robot medicali.

VERIFICA DI APPRENDIMENTO E CRITERI DI VALUTAZIONE

Modalità di esame:

L'esame si articola in prova	
scritta e orale	
solo scritta	
solo orale	x
discussione di elaborato progettuale	
altro	

In caso di prova scritta i quesiti sono	A risposta multipla	
	A risposta libera	x
	Esercizi numerici	

Il colloquio orale è volto all'accertamento dell'acquisizione dei concetti e dei contenuti introdotti durante le lezioni.

Modalità di valutazione:

L'orale costituisce il 100% della valutazione finale.

COMPLEMENTI DI CONTROLLI

SSD IINF-04/A

EVENTUALI PREREQUISITI

Analisi di sistemi multivariabili. Proprietà strutturali dei sistemi lineari. Conoscenze sulla progettazione classica di sistemi di controllo a ciclo chiuso.

OBIETTIVI FORMATIVI

L'obiettivo del corso è quello di fornire allo studente le principali metodologie per la progettazione di sistemi di controllo avanzati per sistemi lineari multivariabili, presentando significativi esempi applicativi.

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI (DESCRITTORI DI DUBLINO)

Conoscenza e capacità di comprensione

Modulo di CONTROLLO AVANZATO ED APPLICAZIONI

Il percorso formativo intende fornire agli studenti gli strumenti metodologici per la progettazione di sistemi di controllo per impianti multivariabili. A tal scopo verranno introdotte le principali tecniche di progetto basate sulla rappresentazione a spazio di stato degli impianti, quali la tecnica di allocazione degli autovalori, il controllo ottimo, ed il controllo ottimo H-infinito. Verrà inoltre affrontato il problema della stima dello stato di un sistema attraverso un osservatore (filtro di Kalman), e quello della riduzione dell'ordine.

Modulo di LEARNING FOR DYNAMICS AND CONTROL

Alla fine del modulo l'allievo sarà capace di

- formulare problemi di ottimizzazione lineare e non lineare, e risolverli su piattaforme di calcolo impiegando gli appositi risolutori (solvers);
- formulare e risolvere problemi di controllo ottimo su orizzonte mobile (receding horizon control), anche denominati "model predictive control";
- formulare e risolvere problemi d'identificazione di sistemi dinamici e generatori di serie temporali;
- analizzare catene di Markov, conoscerne le proprietà, e impiegarle per la modellazione di fenomeni stocastici;
- formulare e risolvere problemi di "programmazione dinamica" in ambito deterministico e stocastico;
- orientarsi sulle tecniche di programmazione dinamica approssimata e reinforcement learning.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione

Modulo di CONTROLLO AVANZATO ED APPLICAZIONI

Al termine del corso, gli studenti saranno in grado di progettare controllori per sistemi multivariabili usando i tools messi a disposizione dal software Matlab/Simulink, e di valutare le prestazioni e la robustezza assicurate dal controllore progettato.

Modulo di LEARNING FOR DYNAMICS AND CONTROL

Progettazione, sviluppo e documentazione di codici di calcolo sofisticati che impiegano gli algoritmi presentati nel corso.

- **Richiami sui sistemi lineari tempo-invarianti.** Decomposizione modale di sistema lineari nel dominio del tempo (diagonalizzazione della matrice dinamica e calcolo della matrice di transizione); sottospazi di raggiungibilità, controllabilità ed osservabilità; i Gramiani di raggiungibilità, controllabilità ed osservabilità; forme canoniche di Kalman; norma in H-infinito di un sistema lineare tempo-invariante.
- **Teoria della stabilità.** Stabilità dei punti di equilibrio. Il Metodo di Lyapunov. Equazioni di Lyapunov per i sistemi lineari.
- **Controllo di sistemi multivariabili.** Analisi dei sistemi multivariabili: sistemi ad anello aperto, sistemi ad anello chiuso. Il criterio di Nyquist per sistemi multivariabili. Il teorema del piccolo guadagno. Stabilizzabilità e rilevabilità di sistemi lineari, test PBH. Allocazione dei poli attraverso la retroazione di stato e la formula di Ackerman per sistemi SISO; lemma di Heymann; teoria e progetto degli osservatori; principio di separazione ed allocazione dei poli attraverso la reazione di uscita.
- **Controllo Ottimo.** Cenni sull'ottimizzazione statica con vincoli di uguaglianza. Problemi di ottimizzazione dinamica; l'equazione di Hamilton-Jacobi-Bellman; formulazione del principio del massimo per problemi con e senza vincoli terminali; soluzione di problemi di controllo ottimo a tempo minimo; regolatori lineari quadratici; equazione differenziale di Riccati; problemi su orizzonte temporale infinito ed equazione algebrica di Riccati; proprietà di stabilità a ciclo chiuso del regolatore lineare quadratico. Robustezza del controllore LQ. Il controllo ottimo in ambito stocastico; il filtro di Kalman; il principio di separazione ed il controllo LQG. Specifiche nel dominio della frequenza e scelta dei pesi nel controllo LQG. Controllo LQG con azione integrale.
- **Controllo Ottimo H-infinito.** Formulazione del problema standard H-infinito. Controllo robusto: analisi di stabilità e prestazioni robuste. Progettazione di controllori robusti.
- **Tecniche di riduzione dell'ordine.** Realizzazioni bilanciate e loro impiego per la riduzione dell'ordine dell'impianto e/o del controllore.

Modulo di LEARNING FOR DYNAMICS AND CONTROL

1. Ottimizzazione Convessa

- **Introduzione:** Basi dei problemi di ottimizzazione.
- **Insiemi Convessi:** Definizioni, proprietà, esempi ed esercizi.
- **Funzioni Convesse:** Proprietà e operazioni che preservano la convessità.
- **Problemi di Ottimizzazione Convessa:** Programmazione Lineare (LP), Programmazione Quadratica (QP), Programmazione Quadraticamente Vincolata (QCQP); esempi pratici e soluzioni.
- **Criteri di Ottimalità:** Per problemi non vincolati; funzione duale, qualificazioni dei vincoli, condizione di Slater, moltiplicatori di Lagrange, condizioni KKT.
- **Esercizi:** Problemi dal testo [BV04].
- **Problemi dei Minimi Quadrati:** Pseudo-inverse, regolarizzazione Ridge e LASSO.
- **Strumenti Software:** Yalmip in Matlab.
- **Ottimizzazione Distribuita:** Metodi del gradiente, sottogradienti, metodi iterativi di ottimizzazione, ottimizzazione centralizzata e distribuita.

2. Controllo Ottimale e Controllo Predittivo Modello (MPC)

- **Riepilogo:** Controllo Ottimale e Regolatore Quadratico Lineare (LQR).
- **Linearizzazione della Traiettoria:** Controllori a ciclo aperto e a ciclo chiuso.
- **Problemi di Inseguimento:** Costruzione di funzionali di costo, rigetto dei disturbi.
- **MPC:** Controllo con orizzonte mobile, ammissibilità e stabilità, esempi come controllo della temperatura ambiente e collisioni di veicoli, estensione a sistemi non lineari, inseguimento di riferimento, vincoli “morbidi”.

3. Sistemi Positivi

- **Matrici Positive:** Teorema di Frobenius-Perron.
- **Sistemi Positivi Discreti:** Equilibri, stabilità, esempi come il modello demografico di Leslie.

4. Catene di Markov

- **Catene di Markov Finite:** Esempi come previsione del tempo, modelli di apprendimento, rovina del giocatore, transizioni multi-step.
- **Catene di Markov Regolari:** Distribuzioni limite, classi e classificazioni, forme canoniche, analisi dello stato transiente.

5. Programmazione Dinamica e Apprendimento Rinforzato

- **Contesto Deterministico:** Applicazione ai problemi LQ, equazione di Riccati, problemi di allocazione e dello zaino.
- **Contesto Stocastico:** Controllo di magazzini, manutenzione di macchine, processi decisionali di Markov, problemi del percorso più breve, iterazioni backward e forward, valutazione e miglioramento delle politiche, iterazione del valore, programmazione dinamica approssimata, apprendimento Q.

6. Decomposizione ai Valori Singolari (SVD)

- **Definizione e Applicazioni:** Comandi MATLAB, teorema di Eckart-Young, interpretazione geometrica, connessione con le pseudo-inverse, applicazioni all'approssimazione di matrici e riduzione dei dati.

Riferimenti:

- Boyd, S. P., & Vandenberghe, L. (2004). *Convex Optimization*.
- Luenberger, D. G. (1979). *Introduction to Dynamic Systems*.
- Benvenuti, L., De Santis, A., & Farina, L. (2009). *Sistemi dinamici*.
- Bertsekas, D. (2012). *Dynamic Programming and Optimal Control*.
- Borrelli, F., Bemporad, A., & Morari, M. (2017). *Predictive Control for Linear and Hybrid Systems*.

- Sutton, R. S., & Barto, A. G. (2018). *Reinforcement Learning*.
- Brunton, S. L., & Kutz, J. N. (2022). *Data-Driven Science and Engineering*.

MATERIALE DIDATTICO

Modulo di CONTROLLO AVANZATO ED APPLICAZIONI

L. Magni, R. Scattolini, *Advance and Multivariable Control*, Pitagora Editrice Bologna.

Appunti forniti dal docente

Modulo di LEARNING FOR DYNAMICS AND CONTROL

- Glielmo, L. (2024) *An introduction to optimization*, lecture slides.
- Boyd, S. P., & Vandenberghe, L. (2004). *Convex Optimization*.
- Luenberger, D. G. (1979). *Introduction to Dynamic Systems*.
- Benvenuti, L., De Santis, A., & Farina, L. (2009). *Sistemi dinamici*.
- Bertsekas, D. (2012). *Dynamic Programming and Optimal Control*.
- Borrelli, F., Bemporad, A., & Morari, M. (2017). *Predictive Control for Linear and Hybrid Systems*.
- Sutton, R. S., & Barto, A. G. (2018). *Reinforcement Learning*.
- Brunton, S. L., & Kutz, J. N. (2022). *Data-Driven Science and Engineering*.

MODALITÀ DI SVOLGIMENTO DELL'INSEGNAMENTO

Modulo di CONTROLLO AVANZATO ED APPLICAZIONI

Il docente utilizzerà: a) lezioni frontali per circa il 70% delle ore totali, b) esercitazioni in aula mediante l'utilizzo del software Matlab/Simulink (www.mathworks.com) per circa il 30% delle ore totali.

Modulo di LEARNING FOR DYNAMICS AND CONTROL

Il corso prevede per lo più lezioni teoriche e alcune esercitazioni in Matlab per avviare gli allievi alla realizzazione del "progetto" di fine corso.

VERIFICA DI APPRENDIMENTO E CRITERI DI VALUTAZIONE

Modalità di esame:

L'esame si articola in prova	
scritta e orale	
solo scritta	
solo orale	X
discussione di elaborato progettuale	X
altro	

In caso di prova scritta i quesiti sono	A risposta multipla	
	A risposta libera	
	Esercizi numerici	

Entrambi i moduli prevedono solo la prova orale. Ciascun colloquio orale consiste nella discussione di una tesina assegnata dal docente e nell'accertamento dell'acquisizione dei concetti e dei contenuti introdotti durante le lezioni.

Modalità di valutazione:

Il voto finale sarà ponderato sui CFU di ciascun modulo e quindi così composto:

- Modulo di CONTROLLO AVANZATO ED APPLICAZIONI, 6 CFU, 50%
- Modulo di LEARNING FOR DYNAMICS AND CONTROL, 6 CFU, 50%

COMPLEMENTI DI MECCANICA

SSD IIND-02/A

EVENTUALI PREREQUISITI

Conoscenze di base sulla meccanica acquisite nell'insegnamento di Fondamenti di Meccanica; conoscenze di base dell'ambiente di lavoro Matlab/Simulink.

OBIETTIVI FORMATIVI

Fornire allo studente nozioni su alcuni fenomeni meccanici che si possono verificare negli organi di macchine e le nozioni fondamentali per la progettazione di sistemi meccanici. Una particolare attenzione viene rivolta all'approfondimento di nozioni della meccanica dei Robot.

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI (DESCRITTORI DI DUBLINO)

Conoscenza e capacità di comprensione

Le attività formative previste dall'insegnamento mirano a fornire allo studente tutti gli strumenti metodologici necessari ad affrontare lo studio di un sistema meccanico in generale e di uno robotico in particolare. Lo studente deve dimostrare di conoscere e saper comprendere le problematiche relative alla meccanica che sono sempre presenti in qualsiasi sistema automatico o automatizzato. Le lezioni e le esercitazioni hanno lo scopo di sviluppare nello studente le connessioni causali tra l'analisi meccanica ed il funzionamento dei meccanismi anche destinati a costituire un sistema di automazione.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione

Il percorso formativo è orientato a trasmettere le capacità e gli strumenti metodologici e operativi necessari ad applicare concretamente le conoscenze relative all'analisi meccanica nelle fasi di progettazione e di studio dei sistemi meccanici stessi. Lo studente dovrà inoltre mostrare la capacità di utilizzo delle principali fasi di sintesi di un sistema robotico riconoscendone le caratteristiche principali e la struttura cinematica, e dimostrando di saper strutturare un'analisi cinematica e dinamica del sistema stesso.

PROGRAMMA-SYLLABUS

- Rigidità e deformabilità di componenti meccanici
- Determinazione delle sollecitazioni negli organi di macchina
- Sistemi a più gradi di libertà
 - matrici di inerzia e matrici di rigidità
 - equazioni del moto
 - frequenze naturali
 - linee elastiche
- Dinamica dei rotori rigidi.
- Elementi di dinamica dei rotori elastici
 - Velocità critiche flessionali
 - Bilanciamento dei rotori rigidi e macchine bilanciatrici
 - Cenni sul bilanciamento dei rotori elastici
- Studio del comportamento cinematico e dinamico di sistemi meccanici mediante simulazione al calcolatore.
- Robot industriali
 - Definizioni, concetti generali
 - Classificazione dei robot

- Descrizione e principi di funzionamento di un robot
 - Sistemi di trasmissione del moto
 - Riduttori
 - Attuatori
 - Altri componenti meccanici per l'automazione
- Sistemi articolati piani ad 1 g.d.l.
 - Quadrilateri articolati: studio cinematico
 - Sintesi cinematica
 - Bilanciamento statico
 - Bilanciamento dinamico
- Sistemi articolati ad n assi
 - Problema cinematico diretto ed inverso
 - Matrici di rotazione
 - Coordinate omogenee
 - Matrici di trasformazione
 - Struttura dei link e parametri dei giunti
 - Rappresentazione di Denavit ed Hartenberg
 - Posizione della pinza
 - Matrice di velocità
 - Matrice di accelerazione
 - Statica del braccio
 - Calibrazione cinematica
- Leggi del moto e traiettorie
 - Tempo minimo di azionamento
 - Scalatura delle leggi del moto
 - Pianificazione delle leggi del moto e delle traiettorie di un robot
 - Traiettoria della pinza di un robot ad n assi
- Dinamica
 - Equazioni di equilibrio dinamico di un manipolatore a più gradi di libertà
 - Matrici delle azioni
 - Forze che agiscono sui link
 - Equilibrio dinamico dei segmenti
 - Cenni sulla dinamica di manipolatori non rigidi

MATERIALE DIDATTICO

Libro di testo: Vincenzo Niola, Giuseppe Quarenba - "Elementi di dinamica non lineare di sistemi meccanici per l'Ingegneria. Dalla Trasformata Wavelet alla Teoria del Chaos".

Libro di testo: Vincenzo Niola, Giuseppe Quarenba - "Sistemi Vibrazionali Complessi. Teoria, Applicazioni e metodologie Innovative di analisi".

Libro di testo: C. Rossi – "Lezioni di Meccanica dei Robot" - Edizioni ESA, ISBN9788895430188

Dispense disponibili sui siti web dei docenti.

MODALITÀ DI SVOLGIMENTO DELL'INSEGNAMENTO

Il docente utilizzerà: a) lezioni frontali per circa l'80% delle ore totali, b) esercitazioni in aula mediante l'utilizzo del software Matlab (<https://www.mathworks.com/>) per circa il 20% delle ore totali.

VERIFICA DI APPRENDIMENTO E CRITERI DI VALUTAZIONE

Modalità di esame:

L'esame si articola in prova	
scritta e orale	X
solo scritta	
solo orale	
discussione di elaborato progettuale	
altro	

In caso di prova scritta i quesiti sono	A risposta multipla	
	A risposta libera	X
	Esercizi numerici	X

Il colloquio orale segue due prove intercorso distribuite temporalmente a metà ed a fine del corso volte all'accertamento dell'acquisizione dei concetti e dei contenuti introdotti durante le lezioni fino al momento della prova stessa. Tipicamente lo studente ha a disposizione 2 ore per la prova intercorso che consiste nel rispondere a 3 quesiti o esercizi numerici. Le due prove hanno uguale peso sul giudizio finale.

Modalità di valutazione:

L'esito delle prove intercorso insieme all'esito della prova orale consente di formulare il giudizio. Il superamento delle prove intercorso da solo non è sufficiente per il superamento dell'esame. Se le prove intercorso non sono sostenute il giudizio è formulato solo sulla base della prova orale.

CONTROL LAB SSD IINF-04/A

EVENTUALI PREREQUISITI

Conoscenze di base sui sistemi di controllo a ciclo chiuso; conoscenze di base delle problematiche legate al determinismo nella progettazione e lo sviluppo di sistemi software real-time.

OBIETTIVI FORMATIVI

Obiettivo principale del corso è fornire allo studente l'opportunità di fare esperienza di risoluzione di problemi pratici di modellazione, identificazione e controllo utilizzando le nozioni teoriche acquisite in corsi precedenti, per un insieme di applicazioni basate su sistemi elettromeccanici. L'apprendimento avverrà attraverso l'inserimento in gruppi di lavoro per la progettazione ed implementazione su PC e/o su schede a microcontrollore di leggi di controllo model-based per ognuno dei set-up sperimentali presenti nel laboratorio, sia fisico che virtuale.

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI (DESCRITTORI DI DUBLINO)

Conoscenza e capacità di comprensione

Il percorso formativo intende fornire agli studenti gli strumenti metodologici per la progettazione di un sistema di controllo reale utilizzando la metodologia Model Based System Design. Lo studente imparerà ad applicare i concetti di Model in the Loop (MIL), Software in the Loop (SIL), Process in the Loop (PIL) ed Hardware in the Loop (HIL), seguendo il tipico schema di sviluppo a "V" di un sistema di controllo, portando in conto anche la scrittura e la verifica dei requisiti. In ognuno di questi step, lo studente deve dimostrare di avere compreso come applicare le nozioni teoriche di modellistica, identificazione, simulazione e controllo apprese in corsi precedenti a problemi pratici e molto vicini a concreti sistemi di controllo industriali.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione

Lo studente deve dimostrare di sapere applicare la metodologia Model Based System Design ad un progetto di un sistema di controllo assegnato. In particolare, a partire dallo sviluppo di modelli in ambiente Matlab/Simulink per i sistemi disponibili in laboratorio, lo studente si occuperà del progetto del controllore in funzione di opportuni requisiti. Successivamente, lo studente deve dimostrare di sapere codificare tale legge di controllo e testarla mediante implementazione su schede a microcontrollore. Il progetto sarà concluso quando lo studente riuscirà a dimostrare l'effettivo funzionamento della logica di controllo sviluppata sul sistema reale, mediante dei test di validazione.

PROGRAMMA-SYLLABUS

- Model Based System Design
 - Diagramma a "V"
 - Model in the Loop
 - Software in the Loop
 - Process in the Loop
 - Hardware in the Loop
 - Testing e verifica dei requisiti
- Laboratorio Virtuale Interattivo Quanser
 - Servo Motor Control
 - Inverted Pendulum
 - Aero System
- Laboratorio Remoto Interattivo Quanser
 - Servo Motor Control

- Aero System
- Programmazione di Microcontrollori
 - Self-balancing Motorcycle
 - Rover
 - Drawing Robot
 - Temperature Control Lab (Lab on Chip)

MATERIALE DIDATTICO

Materiale del docente.

MODALITÀ DI SVOLGIMENTO DELL'INSEGNAMENTO

Il docente utilizzerà: a) lezioni frontali per circa il 20% delle ore totali, b) esercitazioni in aula mediante l'utilizzo dei set-up sperimentali del laboratorio per circa l'80% delle ore totali.

VERIFICA DI APPRENDIMENTO E CRITERI DI VALUTAZIONE

Modalità di esame:

L'esame si articola in prova	
scritta e orale	
solo scritta	
solo orale	
discussione di elaborato progettuale	X
altro	

La prova d'esame consiste nella discussione di un elaborato progettuale relativo ad un sistema di controllo assegnato dal docente e basato su uno dei sistemi disponibili in laboratorio, sia fisico che virtuale.

Nel corso della discussione lo studente dovrà anche mostrare i risultati ottenuti mediante prove di testing pratici sul sistema sviluppato.

Modalità di valutazione:

Si valuterà la capacità di scrivere una relazione tecnica, di collaborazione all'interno di un team, di esposizione dei risultati ottenuti. Si valuterà, inoltre, anche l'aderenza del progetto presentato alle specifiche richieste mediante prove pratiche dimostrative.

DINAMICA E CONTROLLO DEI VELIVOLI

SSD IIND-01/C

EVENTUALI PREREQUISITI

Conoscenze di base sulla dinamica dei sistemi e sulle tecniche di controllo classico. Utilizzo del Matlab/Simulink per la simulazione dei sistemi dinamici.

OBIETTIVI FORMATIVI

Il corso ha come primo obiettivo quello di fornire agli allievi le conoscenze metodologiche necessarie per l'analisi della risposta dinamica di un velivolo ad ala fissa, con o senza pilota a bordo, a una qualsiasi causa perturbatrice a partire da una condizione iniziale di equilibrio. Esso fornisce gli elementi di base della meccanica del volo e successivamente affronta il problema della risposta dinamica del velivolo nello spazio di stato.

La seconda parte del corso fornisce allo studente gli elementi per la progettazione di algoritmi di incremento artificiale della stabilità, di algoritmi di incremento della controllabilità e di autopiloti. I problemi di controllo sono affrontati con riferimento a esempi applicativi e mediante l'uso di tecniche di controllo sia classico che moderno.

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI (DESCRITTORI DI DUBLINO)

Conoscenza e capacità di comprensione

Il percorso formativo intende fornire agli studenti gli strumenti metodologici per comprendere le prestazioni e le caratteristiche dinamiche di un velivolo ad ala fissa, per leggere le specifiche di un sistema di controllo di volo e comprendere quali siano le tecniche più idonee per soddisfarle.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione

Al termine del corso, gli studenti saranno in grado di valutare le prestazioni di un velivolo ad ala fissa, progettare un algoritmo di controllo che ricade nella classe degli algoritmi di incremento artificiale della stabilità, degli algoritmi di incremento della controllabilità o degli autopiloti. I problemi di controllo sono affrontati con riferimento a esempi applicativi e mediante l'uso di tecniche di controllo sia classico che moderno. Lo studente sarà altresì in grado progettare uno stimatore ottimo dello stato del velivolo e di simulare la dinamica del velivolo sia a ciclo aperto che a ciclo chiuso.

PROGRAMMA-SYLLABUS

- Introduzione ai principi di funzionamento dei moderni velivoli con particolare riferimento alla manovrabilità e al controllo
- Modello di atmosfera standard
- Volo rettilineo, uniforme, simmetrico, orizzontale
- Volo in discesa e volo librato
- Volo in salita
- Quota di tangenza teorica e pratica
- Fattore di carico e diagramma di manovra
- La virata e la richiamata
- Le manovre di decollo e di atterraggio
- Cenni alla stabilità statica longitudinale e latero-direzionale
- Equazioni generali del moto del velivolo
- Derivate di stabilità
- Modello linearizzato della dinamica e modi caratteristici longitudinali e latero-direzionali

- Qualità di volo e loro classificazione
- Specifiche richieste a un sistema di controllo di volo
- Sistemi di aumento della stabilità
- Sistemi di aumento della controllabilità
- Autopiloti progettati con tecniche di controllo classico
- Applicazione del controllo ottimo alla progettazione di algoritmi di controllo di volo
- Applicazioni dell'assegnamento dei poli e dell'autostruttura al controllo di volo
- Stima dello stato e filtraggio alla Kalman
- Controllo H-infinito applicato ai problemi di controllo di volo
- Simulazione della dinamica a ciclo chiuso di un velivolo ad ala fissa in ambiente Matlab-Simulink

MATERIALE DIDATTICO

- Appunti e slides forniti dal docente.
- Stevens, B.L., and F.L. Lewis, Aircraft Control and Simulation, Wiley.
- Roskam, J., Airplane Flight Dynamics, Roskam Aviation
- Pamadi, B.N., Performance, Stability, Dynamics and Control of Airplanes, AIAA Education Series

MODALITÀ DI SVOLGIMENTO DELL'INSEGNAMENTO

Il docente utilizzerà: a) lezioni frontali per l'80% delle ore totali, b) esercitazioni in aula mediante l'utilizzo del software MATLAB/SIMULINK (<https://www.mathworks.com/>) per circa il 20% delle ore totali.

VERIFICA DI APPRENDIMENTO E CRITERI DI VALUTAZIONE

Modalità di esame:

L'esame si articola in prova	
scritta e orale	
solo scritta	
solo orale	X
discussione di elaborato progettuale	X
altro	

La prova di esame consiste di due parti:

- n. 2 o 3 domande orali sulla meccanica e/o dinamica del volo dei velivoli ad ala fissa;
- discussione di un elaborato sviluppato in ambiente Matlab/Simulink dalla quale possono scaturire domande sugli algoritmi di controllo di volo e loro implementazione.

Modalità di valutazione:

L'esito dell'esame sarà il frutto di una media pesata delle valutazioni conseguite per la prova orale e la discussione dell'elaborato progettuale.

FOUNDATIONS OF ROBOTICS

SSD IINF-04/A

EVENTUALI PREREQUISITI

Conoscenze di base su: algebra lineare, modellistica dei sistemi meccanici ed elettrici, sistemi di controllo a ciclo chiuso.

OBIETTIVI FORMATIVI

Il corso si propone di fornire le competenze di base per la modellistica, la pianificazione e il controllo del moto dei robot

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI (DESCRIPTORI DI DUBLINO)

Conoscenza e capacità di comprensione

Il percorso formativo intende fornire agli studenti gli strumenti metodologici per la modellistica, la pianificazione e il controllo dei robot. Vengono introdotti i componenti di un robot, i modelli cinematici, statici e dinamici dei robot manipolatori, le tecniche di pianificazione di traiettoria e gli schemi di controllo. Lo studente deve dimostrare di avere appreso quali sono i requisiti dei sistemi dedicati al controllo dei robot, sulla base dei modelli impiegati. Lo studente deve inoltre dimostrare la conoscenza nella derivazione di modelli e nella validazione degli algoritmi per l'inversione cinematica e il controllo mediante strumenti di simulazione.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione

Lo studente deve dimostrare di saper derivare i modelli cinematici, statici e dinamici e di saperli applicare a casi di studio pratici riguardanti i robot manipolatori a catena aperta. A partire da questi, deve dimostrare di saper progettare schemi di controllo che risolvano i problemi di regolazione e di inseguimento di traiettoria e di saperli validare in ambiente Matlab/Simulink®.

PROGRAMMA/SYLLABUS

- Robotica industriale e robotica avanzata
- Descrizione e principi di funzionamento di un robot
- Cinematica diretta
- Calibrazione cinematica
- Cinematica differenziale e Jacobiano
- Ridondanza e singolarità
- Algoritmi per l'inversione cinematica
- Dualità cineto-statica
- Pianificazione di traiettorie nello spazio dei giunti e nello spazio operativo
- Attuatori e sensori
- Unità di governo
- Modello Lagrangiano
- Proprietà notevoli del modello dinamico
- Algoritmo ricorsivo di Newton-Eulero
- Identificazione dei parametri dinamici
- Dinamica diretta e dinamica inversa
- Controllo decentralizzato
- Controllo indipendente ai giunti
- Controllo centralizzato
- Controllo a coppia precalcolata

- Controllo PD con compensazione di gravità
- Controllo a dinamica inversa
- Controllo robusto e adattativo
- Controllo nello spazio operativo

MATERIALE DIDATTICO

- B. Siciliano, L. Sciavicco, L. Villani, G. Oriolo, Robotics – Modelling, Planning and Control, [Springer](#), London, UK, 2009, DOI: [10.1007/978-1-84628-642-1](#). Italian translation: Robotica – Modellistica, Pianificazione e Controllo, [McGraw-Hill Libri Italia](#), Milano, I, 2008
- B. Siciliano, Robotics Foundations I, MOOC disponibile in inglese sulla piattaforma www.federica.eu
- B. Siciliano, Robotics Foundations II, MOOC disponibile in inglese sulla piattaforma www.federica.eu
- Materiale disponibile alla pagina <https://prisma.dieti.unina.it/index.php/education/education-courses/34-robots-foundations>

MODALITÀ DI SVOLGIMENTO DELL'INSEGNAMENTO

Il docente utilizzerà: a) lezioni frontali per circa il 70% delle ore totali, b) esercitazioni in aula per circa il 30% delle ore totali

VERIFICA DI APPRENDIMENTO E CRITERI DI VALUTAZIONE

Modalità di esame:

L'esame si articola in prova	
scritta e orale	
solo scritta	
solo orale	X
discussione di elaborato progettuale	X
altro	

Al colloquio orale si viene ammessi dopo lo svolgimento di un elaborato progettuale in Matlab/Simulink® riguardante la simulazione di algoritmi di inversione cinematica e sistemi di controllo per robot manipolatori. L'esame consiste in una discussione critica dell'elaborato e nell'accertamento dell'acquisizione dei concetti e dei contenuti introdotti durante le lezioni.

Modalità di valutazione:

Lo svolgimento dell'elaborato è vincolante ai fini dell'accesso alla prova orale. L'elaborato e la prova orale contribuiscono ognuna per il 50% della valutazione finale e, pertanto, lo svolgimento dell'elaborato non è sufficiente per il superamento dell'esame.

MODELLI E METODI DELLA RICERCA OPERATIVA

SSD MATH-06/A

OBIETTIVI FORMATIVI

Obiettivo del corso è ampliare le conoscenze modellistiche ed algoritmiche necessarie per analizzare sistemi complessi e ottimizzare il loro funzionamento al fine di risolvere problemi reali di carattere industriale (ad esempio pianificazione della produzione, allocazione delle risorse e schedulazione delle attività). Lo studio teorico sarà inoltre completato dall'introduzione all'utilizzo di ambienti software di ottimizzazione.

Al termine del corso lo studente avrà acquisito gli strumenti necessari a formulare e risolvere in modo esatto o approssimato un problema decisionale, emergente in un contesto industriale automatizzato, mediante un modello di programmazione matematica e algoritmi di ottimizzazione.

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI (DESCRITTORI DI DUBLINO)

Conoscenza e capacità di comprensione

Il percorso formativo ha l'obiettivo di fornire agli studenti le metodologie di ottimizzazione continua, intera e mista-intera necessarie per la modellazione e risoluzione esatta di problemi ingegneristici in ambito industriale, con particolare riferimento a problemi di pianificazione della produzione, allocazione risorse e schedulazione delle attività/task. Lo studente deve dimostrare di aver acquisito gli strumenti necessari a formulare un problema decisionale mediante un modello di programmazione matematica con variabile intera e continue, e deve essere in grado di individuare e/o sviluppare autonomamente il miglior metodo di soluzioni esatto o approssimato, in relazione alle caratteristiche e alla complessità del problema.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione

Il percorso formativo è orientato a trasmettere gli strumenti metodologici e operativi necessari ad applicare concretamente le conoscenze di ottimizzazione continua, intera e combinatoria, a problemi di ottimizzazione emergenti in un contesto industriale automatizzato. In particolare, lo studente deve dimostrare di saper sviluppare tutte le fasi di un processo decisionale: analisi del sistema (definizione delle sue componenti, dei parametri che lo caratterizzano, assunzioni e specifiche di funzionamento); definizione del problema decisionale; selezione/costruzione di un modello matematico di simulazione del sistema; implementazione e risoluzione del modello tramite un algoritmo e/o un software di ottimizzazione; analisi ed interpretazione dei risultati al fine di valutare i range di variazione della soluzione ottenuta e implementare meccanismi di feedback per il miglioramento della sua qualità.

PROGRAMMA-SYLLABUS

- Introduzione all'ottimizzazione: Processi decisionali, Problem Solving, Programmazione matematica.
- Problemi di ottimizzazione continua. Ottimizzazione non lineare mono e multidimensionale (non vincolata e vincolata).
- Ottimizzazione lineare continua. Formulazione di problemi di programmazione lineare (P.L.); algoritmo del Simplex; struttura algebrica della PL; teoria della dualità; analisi post-ottimale; cenni di ottimizzazione multi-criteria, metodi multi-attributo e multi-obiettivo (con e senza priorità).

- Ottimizzazione lineare intera. Formulazione di problemi di programmazione lineare intera (P.L.I.) e binaria; metodi di ottimizzazione intera (branch-and-bound, piani di taglio, metodi a generazione di righe e di colonne); problemi noti di P.L.I. (cutting stock, zaino, assegnamento); modellazione di problemi industriali (e.g. allocazione ottima, schedulazione delle operazioni, pianificazione della produzione).
- Teoria dei grafi e Ottimizzazione su rete. Elementi di teoria dei grafi; struttura dati di un grafo e algoritmi di visita; modellazione di problemi di ottimizzazione su rete e algoritmi risolutivi; problemi di percorso, flusso e progetto; modellazione di problemi industriali su rete (e.g. smart grid, controllo e equilibrio dei flussi).
- Calcolo bounds e sviluppo di algoritmi esatti, euristici e di ricerca locale.
- Laboratorio: sviluppo di modelli e metodi di ottimizzazione per MILP e MINLP e risoluzione tramite software di ottimizzazione (e.g. Xpress-IVE).

MATERIALE DIDATTICO

- M. Caramia, S. Giordani, F. Guerriero, R. Musmanno, D. Pacciarelli, "Ricerca Operativa", Isedi, Italia, 2014.
- C. Guéret, C. Prins, M. Sevaux, Applications of optimization with Xpress-MP, Dash Optimization Ltd., 2010.
- A. Sforza, Modelli e Metodi della Ricerca Operativa, 3a ed., ESI, Napoli, 2018.
- Materiale didattico integrativo fornito durante il corso.

MODALITÀ DI SVOLGIMENTO DELL'INSEGNAMENTO

Il docente utilizzerà: lezioni frontali (60%), seminari (10%), esercitazioni di tipo numerico e di introduzione all'uso di software di ottimizzazione (30%).

VERIFICA DI APPRENDIMENTO E CRITERI DI VALUTAZIONE

Modalità di esame:

L'esame si articola in prova	
scritta e orale	X
solo scritta	
solo orale	
discussione di elaborato progettuale	X
Altro	

In caso di prova scritta i quesiti sono	A risposta multipla	
	A risposta libera	X
	Esercizi numerici	X

La prova scritta, o lo sviluppo di un elaborato progettuale, sono volti a verificare l'acquisizione da parte dello studente della capacità di utilizzare in modo autonomo i concetti e le tecniche illustrate durante il corso attraverso la risoluzione di diversi problemi di ottimizzazione vincolata lineare e non lineare, continua ed intera (MILP e MINLP). Tipicamente lo studente ha a disposizione 3 ore per la prova scritta/elaborato progettuale. Il colloquio orale segue la prova scritta/elaborato progettuale ed ha un duplice finalità: far argomentare allo studente le soluzioni proposte ai problemi risolti nella prova scritta/elaborato progettuale; accertare l'acquisizione dei concetti e delle metodologie illustrati durante le lezioni.

Modalità di valutazione:

L'esito della prova scritta/progetto laboratoriale è vincolante ai fini dell'accesso alla prova orale. La prova scritta/elaborato progettuale e quella orale contribuiscono ognuna per il 50% della valutazione finale. Il superamento della prova scritta/elaborato progettuale non è sufficiente per il superamento dell'esame.

MODELLISTICA E DINAMICA DEI CAMPI

SSD IINF-02/A

EVENTUALI PREREQUISITI

Nessuno

OBIETTIVI FORMATIVI

L'insegnamento ha lo scopo di fornire i fondamenti fisico-matematici necessari alla comprensione delle proprietà dei Campi quali modelli per la descrizione macroscopica dei fenomeni elettromagnetici, di mezzi materiali e della loro interazione.

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI (DESCRIPTORI DI DUBLINO)

Conoscenza e capacità di comprensione

Lo studente dovrà mostrare di aver acquisito gli strumenti metodologici fondamentali della teoria dei campi. Dovrà inoltre dimostrare conoscenza delle principali tecniche numeriche per la soluzione di semplici equazioni differenziali del primo e del secondo ordine, discutendone accuratezza e stabilità.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione

Lo studente dovrà mostrare di saper applicare le conoscenze acquisite all'impostazione di semplici problemi e alla loro risoluzione numerica, facendo riferimento a schemi algoritmici relativi alle geometrie più semplici e agli approcci utili all'accelerazione del calcolo.

PROGRAMMA-SYLLABUS

Descrizione microscopica e macroscopica di un sistema fisico. Il concetto di Campo nella descrizione dei sistemi continui. Il Campo Elettromagnetico. Densità di carica e di corrente. Le Equazioni di Maxwell. La Forza di Lorentz. Il Campo Elettromagnetico ed il concetto di energia. Impostazione di un problema elettromagnetico [1 CFU].

I mezzi materiali e l'interazione con i fenomeni elettromagnetici. Propagazione libera e propagazione guidata [2 CFU].

Soluzione numerica di un problema di dinamica dei campi: gli approcci FEM, FDTD e MoM. Accelerazione algoritmica del calcolo numerico. Accelerazione del calcolo numerico basata sull'impiego di piattaforme per High Performance Computing. Il GPU Computing [3 CFU].

MATERIALE DIDATTICO

SI VEDA SITO WEB DEL DOCENTE DELLA MATERIA

MODALITÀ DI SVOLGIMENTO DELL'INSEGNAMENTO

Lezioni frontali ed esercitazioni in aula e in laboratorio.

VERIFICA DI APPRENDIMENTO E CRITERI DI VALUTAZIONE

Modalità di esame:

L'esame si articola in prova	
scritta e orale	
solo scritta	
solo orale	X
discussione di elaborato progettuale	
altro	

In caso di prova scritta i quesiti sono	A risposta multipla	
	A risposta libera	
	Esercizi numerici	

NONLINEAR DYNAMICS AND CONTROL

SSD IINF-04/A

EVENTUALI PREREQUISITI

Conoscenze di base sui sistemi dinamici lineari e sui sistemi di controllo a ciclo chiuso; elementi di calcolo differenziale e algebra lineare

OBIETTIVI FORMATIVI

Il corso si propone di introdurre gli studenti ai fondamenti dell'analisi e del controllo dei sistemi non lineari e di illustrarne le applicazioni più rappresentative. Si introdurranno inoltre i problemi del consenso e del controllo di coordinamento di reti e di sistemi complessi.

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI (DESCRITTORI DI DUBLINO)

Conoscenza e capacità di comprensione

Il percorso formativo intende fornire agli studenti gli strumenti metodologici per l'analisi della dinamica di sistemi non lineari e la sintesi di strategie di controllo non lineare. Verranno introdotti i concetti fondamentali per sviluppare tali strategie e analizzarne performance, robustezza e stabilità. Lo studente dovrà dimostrare di avere appreso come analizzare un sistema descritto da un campo vettoriale non lineare, di essere in grado di sviluppare il progetto di un controllore per questa classe di sistemi e di validarne l'efficacia al calcolatore o attraverso prototipi sperimentali.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione

Lo studente deve dimostrare di sapere applicare metodi avanzati per l'analisi dei sistemi non lineari e la sintesi di strategie di controllo per lo studio di un sistema di interesse procedendo attraverso tutte le fasi richieste dall'analisi a ciclo aperto alla validazione numerica del sistema di controllo non lineare. Lo studente dovrà mostrare la capacità di sviluppare strategie di controllo non lineare per un sistema applicativo di interesse progettandone le caratteristiche, analizzandone la performance, la stabilità e la robustezza e procedendo alla implementazione numerica del sistema progettato al calcolatore.

PROGRAMMA-SYLLABUS

- Introduzione ai sistemi dinamici non lineari
- Applicazioni rappresentative e casi studio
- Analisi nel piano delle fasi: equilibri e cicli limite
 - Il metodo della linearizzazione
 - esistenza di cicli limite ed altri insiemi invarianti
- Stabilità nello stato
 - metodo di Lyapunov diretto ed indiretto
- Stabilità esterna e passività
- Stabilità strutturale e teoria delle biforcazioni
- Introduzione al problema della sintesi di controllori non lineari
- Controllo Geometrico e Feedback Linearization
- Controllo Ibrido e discontinuo
- Controllo Intelligente e Adattativo
- Introduzione al controllo di sistemi su rete e sistemi multiagente

MATERIALE DIDATTICO

Appunti delle lezioni disponibili sul sito docenti;
Li, Slotine, "Applied Nonlinear Control", Prentice Hall, 1991

Khalil, "Nonlinear Systems", Prentice Hall 2002
Strogatz, "Nonlinear Dynamics and Chaos", Perseus publishing, 1994

MODALITÀ DI SVOLGIMENTO DELL'INSEGNAMENTO

Il docente utilizzerà: a) lezioni frontali per circa il 70% delle ore totali, b) esercitazioni in aula mediante l'utilizzo MATLAB/SIMULINK per circa il 30% delle ore totali.

VERIFICA DI APPRENDIMENTO E CRITERI DI VALUTAZIONE

Modalità di esame:

L'esame si articola in prova	
scritta e orale	
solo scritta	
solo orale	
discussione di elaborato progettuale	X
altro	

La prova di esame si basa sulla discussione di un elaborato progettuale svolto su un sistema applicativo scelto dallo studente ed è rivolta a verificare la capacità dello studente di analizzare un sistema nonlineare e progettare strategie di controllo come quelle presentate durante il corso. La prova consiste nella consegna di un elaborato progettuale che viene poi discusso insieme ad approfondimenti sugli argomenti trattati nel corso.

PIATTAFORME DI CONTROLLO IN REAL-TIME PER AZIONAMENTI ELETTRICI SSD IIND-08/A

OBIETTIVI FORMATIVI

Il corso, interamente a carattere laboratoriale, si propone di fornire agli studenti competenze avanzate sul dimensionamento e sull'implementazione di sistemi real-time dedicati al controllo di azionamenti elettrici destinati ai sistemi di automazione industriale e alla robotica.

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI (DESCRITTORI DI DUBLINO)

Conoscenza e capacità di comprensione

Lo studente deve dimostrare di essere in grado di individuare le problematiche relative all'implementazione real-time di un algoritmo di controllo per azionamenti elettrici e di valutare le priorità e le regole di interconnessione dei task sincroni e asincroni necessari per lo svolgimento ottimale del processo, dimostrando di cogliere le relazioni tra i compiti elementari del processo e le corrispondenti unità hardware.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione

Lo studente deve essere in grado di implementare sulla piattaforma hardware di riferimento un algoritmo di controllo per azionamenti elettrici affiancando alle procedure di basso livello anche la capacità del sistema di assolvere all'esecuzione di strategie di alto livello a mezzo dei protocolli di comunicazione tipicamente utilizzati in questo contesto.

PROGRAMMA-SYLLABUS

- Generalità sulle piattaforme di controllo in tempo reale.
- Descrizione delle periferiche principali: PWM, ADC, DAC, QEP, UART, SPI, CAN, Digital I/O.
- Accenni all'architettura del software: suddivisione in task sincroni e asincroni, priorità di esecuzione, interrupts.
- Prototipazione rapida di un controllo per azionamenti elettrici: dallo schema Simulink all'implementazione su piattaforma di controllo.
- Case study: implementazione del controllo sul sistema LAUNCHXL-F28379D della Texas Instruments.

MATERIALE DIDATTICO

Appunti dalle lezioni

N. Mohan: *Advanced Electric Drives: Analysis, Control, and Modeling Using MATLAB/Simulink*, NJ, USA: Wiley, 2014.

R. W. De Doncker, D. W. J. Pulle, and A. Veltman: *Advanced Electrical Drives*, 2nd ed. Cham, Switzerland: Springer, 2020.

Texas Instruments: *TMS320F2837xD Technical Reference Manual*

MODALITÀ DI SVOLGIMENTO DELL'INSEGNAMENTO-MODULO

Il docente utilizzerà lezioni frontali per circa il 20% delle ore totali ed esercitazioni in aula/laboratorio per circa l'80% delle ore totali.

VERIFICA DI APPRENDIMENTO E CRITERI DI VALUTAZIONE

Modalità di esame:

L'esame si articola in prova	
scritta e orale	
solo scritta	
solo orale	
discussione di elaborato progettuale	

PROGETTAZIONE DI CONTROLLORI INDUSTRIALI ROBUSTI E APPLICAZIONI SSD IINF-04/A

EVENTUALI PREREQUISITI

Conoscenze di base sulla modellistica, l'analisi e il controllo dei sistemi dinamici.

OBIETTIVI FORMATIVI

Nella teoria del controllo classico dei sistemi dinamici viene considerato prevalentemente il controllo di sistemi lineari tempo-invarianti (LTI) SISO, con riferimenti polinomiali e/o sinusoidali e con specifiche di progetto prevalentemente sull'errore a regime, sulla sovraelongazione, sulla banda passante e sul margine di fase e/o di guadagno.

Al tempo d'oggi, però, si avverte l'esigenza di forzare i più svariati sistemi (ad esempio, i sistemi meccanici, elettrici, elettromeccanici, termici, fluidodinamici, pneumatici, chimici, biologici, medicali, economici) a seguire segnali di riferimento con andamenti qualsiasi, purché sufficientemente regolari (ad esempio, i segnali costanti a tratti o lineari a tratti, in alcuni casi ulteriormente regolarizzati con appropriati prefiltri, che sono molto ricorrenti nella pratica ingegneristica e facilmente generabili mediante tecnologie digitali). In merito, si pensi ai numerosi processi mecatronici, che devono essere controllati, con l'ausilio delle moderne tecnologie digitali e wireless, in modo da comportarsi come operai qualificati che lavorano velocemente, accuratamente ed economicamente, nonostante la presenza di variazioni parametriche, non linearità, disturbi ed errori di misura, e ai sistemi di trasporto (terrestri, marini ed aereospaziali).

Inoltre, molti sistemi presentano ritardi interni ed esterni non trascurabili, incertezze parametriche non facilmente riconducibili a variazioni di fase e/o di ampiezza della risposta in frequenza, elementi tempo varianti e/o di saturazione, attuatori di tipo impulsivo o multilivello e, per di più, sono soggetti a disturbi non convenzionali.

Sulla base delle considerazioni di cui sopra, il corso ha lo scopo di fornire agli studenti gli strumenti metodologici ed operativi per progettare vari controllori robusti per un sistema lineare o non lineare SISO o MIMO, a tempo continuo o discreto, con incertezze parametriche e/o strutturali, con ritardi interni e/o esterni, soggetto a disturbi non convenzionali e ad errori di misura, in modo che, con segnali di controllo accettabili, insegua con precisione prefissata un segnale di riferimento qualsiasi purché sufficientemente regolare.

Tali strumenti sono particolarmente utili per controllare efficacemente sistemi ingegneristici di svariata natura, come sarà mostrato nella parte applicativa del corso.

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI (DESCRIPTORI DI DUBLINO)

Conoscenza e capacità di comprensione

Il percorso formativo intende fornire agli studenti gli strumenti metodologici ed operativi per potere scegliere e progettare dei controllori avanzati, robusti ed efficaci sulla base dei processi da controllare, delle specifiche sempre più stringenti richieste in ambito ingegneristico e delle moderne tecnologie.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione

Al termine del corso, gli studenti saranno in grado di applicare con consapevolezza le metodologie di controllo avanzato proposte utilizzando come strumento operativo i programmi di progettazione in Matlab/Simulink forniti. Inoltre, essi saranno in grado di ampliare autonomamente gli ambiti di applicazione delle metodologie e degli strumenti di progettazione forniti e di aggiornarsi riguardo l'avanzamento delle metodologie e delle tecnologie di controllo.

PROGRAMMA-SYLLABUS

- Tipi di segnali di riferimento. Segnali di riferimento a tempo minimo con vincoli sulla derivata prima e seconda. Prefiltri e/o cambiamenti di scala per ottenere segnali di riferimento sufficientemente regolari (con prefissati valori delle derivate i -esime, $i=1,...,j$, $j=1,...,4$).
- Sistemi maggioranti nel dominio della frequenza.
- Sistemi maggioranti nel dominio del tempo.

- Progettazione rapida, via sistema maggiorante nel dominio della frequenza, di controllori di tipo PI, PID, PIDR (per inseguire riferimenti con derivata prima limitata) e PI2, PI2D, PI2DR, PI2D2, PI2D2R (per inseguire riferimenti con derivata seconda limitata) di processi LTI (con eventuali non linearità addizionali limitate) SISO, con ritardi interni e/o esterni, con incertezze parametriche e/o strutturali e soggetti a disturbi con derivata prima o seconda limitata, sia quando si dispone di un modello analitico del sistema da controllare sia quando si dispone di semplici prove sperimentali.

- Progettazione rapida di controllori PI (per inseguire riferimenti con derivata prima limitata) di processi LTI (con eventuali non linearità addizionali limitate) MIMO, con ritardi interni e/o esterni, con incertezze parametriche e/o strutturali e soggetti a disturbi con derivata prima limitata.

- Progettazione, via sistema maggiorante nel dominio del tempo, di controllori robusti di sistemi MIMO LTI a tempo discreto e continuo, con eventuali non linearità addizionali e incertezze parametriche limitate di tipo rapporto di funzioni multi-affini (per inseguire segnali di riferimento generici con derivata discreta prima o seconda limitata per i sistemi a tempo discreto, con derivata v -esima, $v=1,2,3,\dots$, limitata per i sistemi a tempo continuo, anche in presenza di disturbi generici purché sufficientemente regolari).

Un approccio unificato, via sistema maggiorante nel dominio del tempo, che consente di progettare facilmente una famiglia di leggi di controllo robuste, smooth, semplici ed efficaci, per l'inseguimento di segnali di riferimento sufficientemente regolari, di tipo proporzionale - integrale di ordine $h=0,1,2,3$, - derivativo di ordine $k=1,2$ (PI_hD_k), per diverse classi di sistemi MIMO, non lineari e incerti, che includono i processi meccatronici e di trasporto terrestri, marini, aerei e spaziali, con attuatori (anche multilivello) e/o amplificatori ideali o reali, soggetti a disturbi limitati (o con derivata prima o seconda limitata) ed errori di misura anch'essi limitati.

- Algoritmi di controllo per l'intelligenza artificiale.

- Esempi ingegneristici illustrativi delle metodologie proposte riguardanti la gestione delle risorse idriche, impianti di condizionamento, serre, pannelli solari, veicoli e treni elettrici ibridi, navi, droni, aerei, satelliti, mezzi di trasporto terrestri, semplici robot cartesiani e non, rigidi e flessibili, sistemi di movimentazione automatica.

MATERIALE DIDATTICO

Pubblicazioni scientifiche:

L. Celentano, "A fast design technique for robust industrial controllers," *Journal of the Franklin Institute*, vol. 360, no. 8, pp. 5689-5727, 2023.

L. Celentano, M.V. Basin, and P. Shi, "Majorant-based control methodology for mechatronic and transportation processes," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 157916-157939, 2021.

L. Celentano, M.V. Basin, and M. Chadli, "Robust tracking design for uncertain MIMO systems using proportional-integral controller of order v ," *Asian Journal of Control*, vol. 23, no. 5, pp. 2042-2063, 2021.

L. Celentano and M. Basin, "Optimal estimator design for LTI systems with bounded noises, disturbances, and nonlinearities," *Circuits, Systems, and Signal Processing*, vol. 40, no. 7, pp. 1476-1489, 2021.

L. Celentano and M. Basin, "A robust tracking method for MIMO uncertain discrete-time systems: mechatronic applications," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 33113-33124, 2020.

Libri di testo:

L. Celentano, Robust tracking controllers design with generic references for continuous and discrete uncertain linear SISO systems, LAP LAMBERT Academic Publishing, Saarbrücken, Germany, 2012. ISBN: 978-3659291937

G. Celentano, L. Celentano – Modellistica, Simulazione, Analisi, Controllo e Tecnologie dei Sistemi Dinamici - Elementi di Controlli Automatici, vol. III, EdISES Edizioni, 2015. ISBN: 978-8879598859

Dispense integrative:

L. Celentano, "Metodologie di controllo robusto basate sui sistemi maggioranti", 2024.

L. Celentano, G. Celentano, "Libreria e manuale di programmi in Matlab/Simulink per la progettazione e le applicazioni", 2024.

MODALITÀ DI SVOLGIMENTO DELL'INSEGNAMENTO

Il docente utilizzerà: a) lezioni frontali per il 50% delle ore totali, b) esercitazioni in aula mediante l'utilizzo di programmi Matlab/Simulink contenuti nel materiale integrativo o da sviluppare per circa il 40% delle ore totali, c) seminari per il 10% circa delle ore totali.

VERIFICA DI APPRENDIMENTO E CRITERI DI VALUTAZIONE

Modalità di esame:

L'esame si articola in prova	
scritta e orale	
solo scritta	
solo orale	X
discussione di elaborato progettuale	X
altro	

Il colloquio orale consiste nell'accertamento della conoscenza e comprensione delle metodologie di controllo proposte e della progettazione dei relativi controllori.

È prevista anche la discussione di un elaborato progettuale concordato con il docente e che potrà essere svolto in gruppo o in collaborazione con aziende.

Modalità di valutazione:

Nella valutazione finale dello studente l'accertamento metodologico e la discussione dell'elaborato pesano in maniera pressoché paritaria.

PROGETTO E SVILUPPO DI SISTEMI IN TEMPO REALE

SSD IINF-05/A

EVENTUALI PREREQUISITI

Conoscenze di base di programmazione

OBIETTIVI FORMATIVI

Il corso fornisce le conoscenze di base sui sistemi in tempo reale, sulla schedulazione di task real-time, sulla gestione delle risorse, sulle reti di calcolatori e sui sistemi operativi adottati in ambito industriale. Fornisce inoltre le competenze necessarie alla progettazione, il dimensionamento e lo sviluppo di sistemi in tempo reale. Le esercitazioni consistono in applicazioni di programmazione concorrente con task real-time sviluppate in diversi ambienti (real-time LINUX, FreeRTOS, ChibiOS) e progettazione OO di software real-time attraverso SysML e il profilo OMG MARTE.

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI (DESCRIPTORI DI DUBLINO)

Conoscenza e capacità di comprensione

Lo studente deve dimostrare: di conoscere le problematiche dell'elaborazione in tempo reale, di saper illustrare i fondamenti teorici relativi agli algoritmi per lo scheduling di task periodici e aperiodici e per la gestione delle risorse condivise con vincoli temporali, e relativi test di fattibilità, di saper riconoscere le principali soluzioni per la comunicazione in rete con vincoli temporali, di comprendere i principi di programmazione concorrente applicati ai sistemi real-time.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione

Lo studente deve dimostrare di saper astrarre problemi di progettazione di sistemi in tempo reale e di ricondurli ad opportuni modelli teorici atti alla verifica della fattibilità, di saper risolvere problemi di dimensionamento di sistemi real-time attraverso le metodologie e gli algoritmi appresi, di saper progettare sistemi complessi attraverso strumenti di astrazione e modellazione di alto livello, di saper implementare sistemi software real-time utilizzando primitive per la gestione dei task periodici e aperiodici e per l'inter-process communication in tempo reale.

PROGRAMMA-SYLLABUS

Concetti Introduttivi. Introduzione ai sistemi in tempo reale: campi applicativi. dimensionamento, deadline, sistemi hard e soft real-time, caratteristiche desiderabili; problematiche di progetto e sviluppo.

Prevedibilità dei sistemi di calcolo. Fonti di non determinismo hardware e del Sistema Operativo. Introduzione allo Scheduling. Processo e programma. Schedulazione, fattibilità, schedulabilità, ottimalità, preemption.

Scheduling di task real time. Algoritmo di Jackson, algoritmo di Horn, algoritmo di Bratley. Scheduling con vincoli di precedenza. Timeline Scheduling, Rate Monotonic (RM). Earliest Deadline First (EDF), Deadline Monotonic. Ottimalità e test di garanzia. Response Time Analysis. Processor Demand Criterion per EDF.

Accesso a risorse condivise. Il problema della priority inversion. Non-preemptive protocol. Highest locker priority. Priority Inheritance e Priority Ceiling. Analisi di schedulabilità, calcolo dei tempi di bloccaggio. Stack Resource Policy.

Server aperiodici. Schedulazione in background. Polling Server (PS). Deferrable Server (DS), Sporadic Server (SS), Slack Stealer. Dynamic Sporadic Server (DSS), Total Bandwidth Server (TBS), Costant Bandwidth Server (CBS).

Gestione dei sovraccarichi. Carico, valore cumulativo, fattore competitivo. Admission control; robust scheduling, resource reservation con CBS. Algoritmo RED. Job skipping, period adaptation e service adaptation.

Comunicazione Real-time. I protocolli CSMA/CD e Token Ring. Modelli di traffico real-time. Fonti di non determinismo nelle reti. Controller Area Network (CAN), ProfiNET ed Ethernet Power Link. RTNet. Weighted Fair Queuing, RSVP e RTP (cenni). RTPS e Standard DDS. Esempi applicativi.

Analisi del Worst Case Execution Time. Metodi statici e metodi measurement-based. Bound calculation: path-based, structure-based e implicit path enumeration (IPET). Esempi di tool statici e measurement-based.

Real Time Operating Systems (RTOS): Primitive per la programmazione di applicazioni concorrenti in ambiente real-time. Colloquio con le periferiche, RTOS commerciali ed Open Source, introduzione a FreeRTOS, ChibiOS e Linux real-time. Sviluppo di applicazioni concorrenti real-time in tali ambienti.

Standard e Certificazioni. La standardizzazione, standard per RTOS: RT-POSIX, OSEK, AUTOSAR, ARINC, MICRO-ITRON. Standard di certificazione: DO-178B, IEC61508.

Progettazione di Sistemi Real Time con SysML e OMG MARTE. Model driven engineering. UML2 ed estensioni: profili, metamodelli e stereotipi. Progettazione con SysML. Specifica MARTE. Esempi in ambiente integrato (Papyrus).

MATERIALE DIDATTICO

- Libro di testo:
 - G. Buttazzo “Sistemi in tempo reale”, Pitagora editrice
- trasparenze delle lezioni, dispense didattiche ed articoli scientifici di approfondimento disponibili sul sito docente.

MODALITÀ DI SVOLGIMENTO DELL'INSEGNAMENTO

La didattica è erogata a) per il 70% con lezioni frontali e b) per il 30% con esercitazioni guidate in aula per approfondire praticamente gli aspetti relativi all'utilizzo di sistemi operativi real-time e alla programmazione di task real-time.

Gli argomenti delle lezioni frontali e dei seminari sono esposti con l'ausilio di trasparenze dettagliate, messe a disposizione dello studente nel materiale didattico tramite il sito web ufficiale del docente.

VERIFICA DI APPRENDIMENTO E CRITERI DI VALUTAZIONE

Modalità di esame:

L'esame si articola in prova	
scritta e orale	X
solo scritta	
solo orale	
discussione di elaborato progettuale	
altro	

In caso di prova scritta i quesiti sono	A risposta multipla	
	A risposta libera	X
	Esercizi numerici	X

La prova scritta è suddivisa in due parti: 1) risoluzione di esercizi numerici e 2) un esercizio di programmazione concorrente real-time. La parte 2) può essere sostituita dallo svolgimento di due prove di programmazione in itinere, durante lo svolgimento del corso. Il codice consegnato durante il corso sarà oggetto di discussione all'orale.

Modalità di valutazione:

L'esito della prova scritta è vincolante ai fini dell'accesso alla prova orale. Il voto finale è stabilito come media degli esiti delle prove scritte e dell'orale.

PROTOTIPAZIONE VIRTUALE

SSD IIND-03/B

EVENTUALI PREREQUISITI

Concetti fondamentali della Meccanica Classica; conoscenze di base delle problematiche legate al funzionamento delle macchine.

OBIETTIVI FORMATIVI

L'obiettivo del corso è quello di educare lo studente alle problematiche di progettazione di macchine e sistemi meccanici mediante l'impiego di prototipi virtuali. Al termine del corso lo studente sarà in grado di: Impostare e sviluppare i modelli 3D di assiemi meccanici. Leggere ed interpretare correttamente un disegno meccanico. Operare la scelta dei mezzi di comunicazione tecnica per la progettazione dei prodotti industriali. Rappresentare per esigenze costruttive particolari meccanici e per esigenze funzionali e di montaggio complessivi semplici. Realizzare in maniera interattiva disegni di assemblaggio a partire dai modelli CAD tridimensionali. Assegnare e valutare caratteristiche e proprietà di sistemi meccanici in ambiente virtuale: forme, proporzioni, materiali. Riconoscere gli elementi normalizzati. Gestire protocolli di riferimento per lo scambio-dati. Simulare ed analizzare in ambiente virtuale il comportamento cinematico di sistemi meccanici. Eseguire analisi strutturali agli elementi finiti (FEM) in ambiente virtuale su parti ed assiemi meccanici. Conoscere i sistemi di gestione dei dati del prodotto (PDM) e del ciclo di vita del prodotto (PLM). Impiegare le tecnologie di prototipazione virtuale e di Human modeling per l'analisi e la validazione di prodotti industriali.

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI (DESCRITTORI DI DUBLINO)

Conoscenza e capacità di comprensione

Il percorso formativo intende fornire agli studenti gli strumenti metodologici per la progettazione e lo sviluppo di prodotti industriali mediante l'impiego di prototipi virtuali. Lo studente deve dimostrare di avere appreso quali sono i requisiti peculiari dei sistemi hardware e software dedicati alle varie fasi del processo di sviluppo prodotto ed alla gestione del suo ciclo di vita. Lo studente dovrà inoltre dimostrare la conoscenza delle fasi principali di progettazione di un sistema meccanico, dalla identificazione dei requisiti, alla costruzione del prototipo virtuale ed alla sua validazione mediante strumenti di simulazione.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione

Lo studente deve dimostrare di saper costruire prototipi virtuali mediante software specifici per la gestione del ciclo di vita del prodotto, la modellazione geometrica, la simulazione cinematica del modello digitale (DMU), l'analisi strutturale e la validazione ergonomica. Lo studente dovrà mostrare la capacità di sviluppare un progetto concettuale di un sistema meccanico in ambiente virtuale, identificando elementi normalizzati e parti da progettare, gestendo i protocolli di riferimento per lo scambio dati e valutando i sistemi di simulazione idonei allo sviluppo ed alla validazione del progetto.

PROGRAMMA-SYLLABUS

- Introduzione al corso: Obiettivi, contenuti, modalità d'esame.
- Il Digital Mock-Up (DMU), Ingegneria sequenziale e concorrente, il ciclo di sviluppo prodotto basato sul DMU. Metodologie di progettazione e pianificazione delle attività di progetto.
- Richiami di disegno tecnico industriale: metodo delle proiezioni ortogonali, sezioni, quotatura.
- Metodi di modellazione assistita da calcolatore.
- Modellazione basata sulla geometria: Drafting 2D, Modellazione 3D Wireframe, Primitive di modellazione, B-Rep, CSG, per superfici, ibrida.

- Introduzione alla piattaforma CAD: Impostazioni di base, Descrizione Albero del modello.
- Modellazione basata sulla conoscenza: approccio parametrico e variazionale, Modellazione solida basata su caratteristiche (Feature Based).
- Paradigma parametrico-associativo. Struttura di prodotto: parti, componenti, assiemi.
- Modellazione di parti: concetti di Feature, Body, Gruppi Geometrici. Strumenti per la gestione delle Feature Basate su schizzi. Gestione dei Vincoli. Strumenti di analisi dello schizzo.
- Strumenti per la creazione e la gestione delle feature avanzate: Feature di dettagliatura, Feature di trasformazione, Feature booleane, Modellazione Multi-Body. Principi di corretta modellazione.
- Metodi di rappresentazione di Curve e Superfici a forma libera: Rappresentazione analitica e parametrica, Curve e superfici di HERMITE, BEZIER, B-SPLINE, NURBS. Strumenti CAD per la creazione, l'analisi e la manipolazione di superfici.
- Modellazione di Assiemi. Approcci Bottom-Up e Top-Down. Gestione del salvataggio. Analisi dell'assieme. Feature d'assieme. Configurazione di prodotto e tabelle di progetto. Problematiche di scambio dati.
- Generazione di disegni e documentazione di prodotto a partire da modelli CAD. La distinta base.
- Simulazione di cinatismi.
- Sistemi per la gestione dei dati di prodotto (PDM) e per la gestione del ciclo di vita del prodotto (PLM): Definizioni e scopi; Funzionalità; Architettura.
- Applicazione di metodologie di progettazione: modellazione, dimensionamento preliminare e verifiche nominali di organi meccanici. Indicazioni generali per individuare i criteri di scelta di diversi componenti e dispositivi meccanici.
- Verifica strutturale nominale assistita da calcolatore; preprocessing: realizzazione della mesh, condizioni vincolari, applicazione dei carichi; post-processing: valutazione dello stato tensionale e delle deformazioni.
- Legame CAD-CAM.
- Digital Human modeling: misure antropometriche convenzionali e task oriented; modelli cinematici; assegnazione di compiti umani e metodi di valutazione delle performance; analisi delle forze e dei momenti; indici di valutazione posturale.
- La Realtà Virtuale nella progettazione industriale: la visione stereoscopica, sistemi di visualizzazione, sistemi di tracking, sistemi di navigazione, sistemi di manipolazione, sistemi haptic. Elaborazione dei modelli geometrici per la prototipazione virtuale: tassellazione, Rendering e Texture mapping. Applicazioni in ambito ferroviario, automobilistico, aeronautico ed energetico. Augmented e Mixed Reality.

MATERIALE DIDATTICO

E. Chirone, S. Tornincasa, Disegno Tecnico Industriale (2 volumi), Editore: Il Capitello;
 Caputo Francesco, Di Gironimo Giuseppe, La Realtà Virtuale nella Progettazione Industriale, Aracne, 2007.
 Gary R. Bertoline, Eric N. Wiebe, Fondamenti di comunicazione grafica, McGraw Hill, 2003
 Mortenson M.E., Geometric Modeling, Ed. John Wiley & Sons, 1997
 Tavole di esercitazione (sito docente); Slides e dispense integrative fornite dal docente (sito docente).

MODALITÀ DI SVOLGIMENTO DELL'INSEGNAMENTO

Il docente utilizzerà: a) lezioni frontali per circa il 60% delle ore totali, b) esercitazioni in aula mediante l'utilizzo di tool di progettazione (modellazione geometrica CAD 3D e 2D, simulazioni cinematiche, analisi strutturali FEM, analisi ergonomiche) per circa il 40% delle ore totali.

VERIFICA DI APPRENDIMENTO E CRITERI DI VALUTAZIONE

Modalità di esame:

L'esame si articola in prova	
scritta e orale	X
solo scritta	
solo orale	
discussione di elaborato progettuale	X
altro	

In caso di prova scritta i quesiti sono	A risposta multipla	
	A risposta libera	X
	Esercizi numerici	

La prova scritta è rivolta a verificare la capacità dello studente di sviluppare prototipi virtuali di semplici assiemi meccanici, simularne il comportamento cinematico, analizzarne le caratteristiche strutturali e generare la documentazione di prodotto e la relativa distinta base. Tipicamente lo studente ha a disposizione 3 ore per la prova scritta.

Il colloquio orale segue la prova scritta ed è rivolto ad una discussione critica della/e soluzione/i data/e dallo studente ai problemi proposti nella prova scritta, alla presentazione di un elaborato progettuale ed all'accertamento dell'acquisizione dei concetti e dei contenuti introdotti durante le lezioni.

Modalità di valutazione:

L'esito della prova scritta è vincolante ai fini dell'accesso alla prova orale. Le prova scritta e quella orale contribuiscono ognuna per il 50% della valutazione finale; pertanto, il superamento della prova scritta non è sufficiente per il superamento dell'esame.

VERIFICA DI APPRENDIMENTO E CRITERI DI VALUTAZIONE

Modalità di esame:

L'esame si articola in prova	
scritta e orale	X
solo scritta	
solo orale	
discussione di elaborato progettuale	X
altro	

In caso di prova scritta i quesiti sono	A risposta multipla	
	A risposta libera	X
	Esercizi numerici	

La prova scritta è rivolta a verificare la capacità dello studente di sviluppare prototipi virtuali di semplici assiemi meccanici, simularne il comportamento cinematico, analizzarne le caratteristiche strutturali e generare la documentazione di prodotto e la relativa distinta base. Tipicamente lo studente ha a disposizione

3 ore per la prova scritta.

Il colloquio orale segue la prova scritta ed è rivolto ad una discussione critica della/e soluzione/i data/e dallo studente ai problemi proposti nella prova scritta, alla presentazione di un elaborato progettuale ed all'accertamento dell'acquisizione dei concetti e dei contenuti introdotti durante le lezioni.

Modalità di valutazione:

L'esito della prova scritta è vincolante ai fini dell'accesso alla prova orale. Le prova scritta e quella orale contribuiscono ognuna per il 50% della valutazione finale; pertanto, il superamento della prova scritta non è sufficiente per il superamento dell'esame.

EVENTUALI PREREQUISITI.

Utilizzo base del sistema operativo Linux; Conoscenza base di programmazione a oggetti.

OBIETTIVI FORMATIVI

L'obiettivo del corso è di fornire allo studente gli strumenti base per la programmazione di sistemi robotici avanzati, con particolare attenzione ai robot mobili terrestri e aerei e ai bracci robotici industriali. Durante il corso, lo studente apprenderà le tecniche base di programmazione del paradigma "percezione-azione" per il controllo di uno o di un gruppo di robot, applicando gli algoritmi sviluppati a piattaforma simulate in ambienti di simulazione dinamici.

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI (DESCRITTORI DI DUBLINO)

Conoscenza e capacità di comprensione

Il percorso formativo ha lo scopo di fornire agli studenti gli strumenti metodologici per l'implementazione di algoritmi per il controllo di robot mobili e industriali basati su linguaggio di programmazione in C++, eseguiti su sistemi operativi Linux. Verrà inizialmente introdotto il principio alla base della programmazione di sistemi robotici e diverse librerie software dedicate a questo scopo. Successivamente verranno approfonditi i framework di programmazione ROS e ROS2 (Robot Operating System) studiandone il funzionamento, la filosofia e l'integrazione con sistemi robotici simulati. Lo studente deve dimostrare di aver appreso quali sono i principi di progettazione di un algoritmo per il controllo di un robot e i requisiti fondamentali relativi alla piattaforma robotica da controllare e a seguito del compito da eseguire. Lo studente dovrà inoltre dimostrare di aver acquisito la conoscenza sull'utilizzo delle principali librerie software dedicate alla risoluzione di problemi relativi alla programmazione di robot. Infine, lo studente dovrà acquisire una conoscenza base sull'utilizzo dei principali sensori utilizzati sui robot avanzati, sul loro interfacciamento con la piattaforma robotica e le principali tecniche di elaborazione dei dati sensoriali per controllare le azioni dei robot.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione

Lo studente deve dimostrare di essere in grado di implementare un sistema di controllo in linguaggio di programmazione C++ che gestisca le azioni di un sistema robotico nell'esecuzione di un tipico compito della robotica di servizio. Il sistema di controllo deve essere sviluppato a partire da una serie di specifiche di funzionamento. Lo studente dovrà essere in grado di predisporre l'ambiente e il sistema robotico nell'ambiente di simulazione.

PROGRAMMA-SYLLABUS

- Introduzione al sistema operativo Linux
 - Introduzione alla configurazione e ai comandi base del sistema operativo Linux
- Introduzione alla programmazione a oggetti
 - Paradigma di programmazione a oggetti
 - Strutture dati dinamiche
 - Compilazione e integrazione di librerie software esterne
 - Sviluppo di algoritmi multi-threading
 - Implementazione di un ciclo di controllo sense-plan-act
- Utilizzo di software per il controllo di versioni
 - Gestione del codice mediante Git
- Robot Operating System (ROS)
 - Filosofia di programmazione in ROS e concetti base
 - Installazione e configurazione di ROS

- Message-passing in ROS
 - Protocolli di publish/subscribe e client/server
- Utilizzo di sensori per applicazioni robotiche
 - Camere digitali
 - LIDAR
 - Sensori di profondità
- Simulatori di sistemi robotici dinamici
 - Gazebo
 - CoppeliaSim e MuJoCo
- Controllori per l'attuazione di robot
 - Controllori di posizione/velocità/forza
 - Simulazione di controllori in ROS e Gazebo
- Algoritmi di controllo di robot industriali
 - Soluzioni automatiche per la cinematica diretta e inversa
 - Soluzioni automatiche per la dinamica diretta e inversa
- Navigazione di robot mobili
 - Localizzazione di robot mediante sensori LIDAR
 - Localizzazione e mapping (SLAM) 2D
 - Generazione di percorsi liberi da ostacoli in due dimensioni
 - Controllo di una base mobile con attuazione differenziale
- Robotica aerea
 - Simulazione di piattaforme aeree a decollo e atterraggio verticale
 - Localizzazione e mapping (SLAM) 3D
 - Generazione di percorsi liberi da ostacolo in tre dimensioni
 - Autopilota PixHawk e sua simulazione in Gazebo
- Robot Operating System 2 (ROS2)
 - Introduzione a ROS2
 - Differenze tra ROS e ROS2
 - Porting di applicazioni ROS in ROS2
 - Applicazioni real time e comunicazione stabile tra diverse applicazioni
- Sistemi di controllo di robot distribuiti
 - Sistemi multi robot
 - Sistemi distribuiti per il controllo di una singola piattaforma
- Controllo dei robot e machine learning
 - Deep Reinforcement learning libero dal modello

MATERIALE DIDATTICO

Materiale fornito dal docente

J. Lentin, J. Cacace, Mastering Ros for Robotics Programming - Third edition. Packt Publishing, 2021

MODALITÀ DI SVOLGIMENTO DELL'INSEGNAMENTO

Il docente utilizzerà lezioni frontali per il totale delle ore a disposizione. Durante le lezioni saranno svolte brevi esercitazioni al calcolatore.

VERIFICA DI APPRENDIMENTO E CRITERI DI VALUTAZIONE

Modalità di esame:

L'esame si articola in prova	
scritta e orale	
solo scritta	

solo orale	X
discussione di elaborato progettuale	X
altro	

In caso di prova scritta i quesiti sono	A risposta multipla	
	A risposta libera	
	Esercizi numerici	

Le conoscenze acquisite dello studente vengono verificate in un colloquio orale che consiste nella discussione di un elaborato progettuale da lui sviluppato autonomamente. Durante il colloquio verrà discusso in modo critico l'operato dello studente in modo da accertarne l'acquisizione dei concetti discussi durante le lezioni. La conoscenza di altri concetti introdotti durante le lezioni non contestuali all'elaborato progettuale verrà verificata durante il colloquio orale.

Modalità di valutazione:

Il corretto svolgimento dell'elaborato tecnico è vincolante ai fini dell'accesso alla prova orale, in quanto la valutazione dell'elaborato tecnico contribuisce al 70% della valutazione finale.