



**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, Classe LM-25*

**ANNO ACCADEMICO 2021/2022**

Napoli, agosto 2021

## **Finalità del Corso di Laurea Magistrale e sbocchi occupazionali**

Il Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria dell'Automazione e Robotica forma tecnici di elevato livello, dotati di una significativa padronanza dei metodi della modellistica analitica e numerica e dei contenuti tecnico scientifici generali dell'Ingegneria dell'Automazione e della Robotica. Il laureato in Ingegneria dell'Automazione e Robotica ha un'elevata preparazione scientifica interdisciplinare sui settori specifici che riguardano l'automazione industriale. Il livello di approfondimento dei temi trattati durante il percorso formativo caratterizza il Laureato Magistrale per una ottima padronanza tecnico-culturale nei campi dell'automazione, e gli conferisce competenze qualificate nel trattare problemi complessi, secondo un approccio interdisciplinare, con consapevolezza e capacità di assumere le proprie responsabilità nei molteplici ruoli che è in grado di ricoprire.

Gli obiettivi formativi specifici si identificano a partire dalle capacità professionali per le quali viene preparato lo studente, e che possono così sintetizzarsi:

- condurre ricerche, ovvero applicare le conoscenze esistenti per progettare, controllare in modo automatico, disegnare e gestire sistemi, motori, apparati e attrezzature rivolte alla automazione dei sistemi, degli impianti e dei processi;
- condurre ricerche, ovvero applicare le conoscenze esistenti nei contesti applicativi dei sistemi dinamici;
- essere capaci di concepire, progettare e gestire sistemi, processi e servizi complessi e innovativi sia nel settore specifico dell'automazione che, più in generale, in tutti i comparti dove l'automazione gioca un ruolo rilevante.

Per raggiungere tali obiettivi, le figure professionali prodotte dal corso di laurea devono:

- conoscere approfonditamente gli aspetti teorico-scientifici della matematica e delle altre scienze di base ed essere capaci di utilizzare tale conoscenza per interpretare e descrivere i problemi dell'ingegneria complessi o che richiedono un approccio interdisciplinare;
- conoscere approfonditamente gli aspetti teorico-scientifici dell'ingegneria, sia in generale sia in modo approfondito relativamente a quelli dell'ingegneria dell'automazione, nella quale sono capaci di identificare, formulare e risolvere, anche in modo innovativo, problemi complessi o che richiedono un approccio interdisciplinare;
- essere capaci di ideare, pianificare, progettare e gestire sistemi, processi e servizi complessi e/o innovativi;
- essere capaci di progettare e gestire esperimenti di elevata complessità;
- essere dotati di conoscenze di contesto e di capacità trasversali;
- avere conoscenze nel campo dell'organizzazione aziendale (cultura d'impresa) e dell'etica professionale;
- essere in grado di utilizzare fluentemente, in forma scritta e orale, almeno una lingua dell'Unione Europea oltre l'italiano, con riferimento anche ai lessici disciplinari.

La formazione del laureato magistrale in Ingegneria dell'Automazione e Robotica ha anche l'obiettivo di fornire le competenze per l'apprendimento permanente in un settore ad elevata evoluzione tecnologica, per l'ulteriore specializzazione in settori specifici o scientificamente avanzati, per la prosecuzione degli studi in livelli di formazione superiore quali Master e Scuole di dottorato.

Gli ambiti professionali tipici per i laureati magistrali della classe sono quelli dell'innovazione e dello sviluppo della produzione, della progettazione avanzata, della pianificazione e della programmazione, della gestione di sistemi complessi, sia nella libera professione sia nelle imprese manifatturiere o di servizi che nelle amministrazioni pubbliche. I laureati magistrali potranno saranno professionisti in grado di affrontare e risolvere problemi legati alla riduzione

o eliminazione dell'intervento dell'uomo nella produzione di beni e servizi e nella gestione di macchine, con l'obiettivo di migliorare la qualità e l'affidabilità del prodotto, ridurre i costi e aumentare la sicurezza sia nel processo di produzione che nell'utilizzazione di macchine. Potranno essere inserite a livello aziendale sia per svolgere, in maniera autonoma, funzioni di progettazione, realizzazione, installazione, manutenzione e conduzione di sistemi di automazione anche complessi. I settori di sbocco si possono suddividere in: società produttrici di componenti e sistemi per l'automazione; società di ingegneria specificamente operanti nel campo delle tecnologie dell'informazione per l'automazione della produzione industriale; industrie di progettazione e produzione di macchine e/o sistemi ad alto contenuto di automazione (industria automobilistica, aeronautica/aerospaziale, trasporti); società utilizzatrici di sistemi di automazione (industria di processo, industria manifatturiera, società di gestione di reti di servizi).

Il Laureato Magistrale in Ingegneria dell'Automazione e Robotica dovrà, inoltre, essere in grado di utilizzare correttamente la lingua Inglese in forma scritta e orale ed essere in possesso di adeguate conoscenze che permettano l'uso degli strumenti informatici, necessari nell'ambito specifico di competenza e per lo scambio di informazioni generali.

# Manifesto degli Studi

Insegnamento	SSD	CFU	Tipologia	Propedeuticità
<b>I Anno – 1° semestre</b>				
Complementi di controlli	ING-INF/04	6	2	
Complementi di meccanica	ING-IND/13	9	2	
Azionamenti elettrici per automazione e robotica	ING-IND/32	9	2	
Modelli e metodi della ricerca operativa	MAT/09	6	4	
Attività formative curriculari a scelta della Tabella I - vedi nota a)	ING-IND/31	9	4	
<b>I Anno – 2° semestre</b>				
Identificazione e controllo ottimo	ING-INF/04	6	2	
Progetto e sviluppo di sistemi in tempo reale	ING-INF/05	9	4	
Attività formative curriculari a scelta della Tabella I - vedi nota a)	ING-IND/15	9	4	
	ING-INF/02			
<b>II Anno – 1° semestre</b>				
Dinamica e controllo nonlineare	ING-INF/04	6	2	Complementi di controlli
Fondamenti di robotica	ING-INF/04	9	2	
Attività a scelta autonoma dello studente, per es. Tabella III – vedi nota c)		12	3	
<b>II Anno – 2° semestre</b>				
Attività formative curriculari a scelta dalla Tabella II - vedi nota b)	ING-INF/04	6	2	
Attività formative curriculari a scelta dalla Tabella II - vedi nota b)	ING-INF/04	12	2	
Ulteriori conoscenze		6	6	
Prova finale		15	5	
<b>Totale CFU</b>		<b>120</b>		

**Nota a)** Lo studente dovrà scegliere uno dei tre insegnamenti da 9 CFU presenti in Tabella I. Tale insegnamento potrà essere usufruito nel primo o nel secondo semestre, a seconda della scelta effettuata.

**Nota b)** Lo studente dovrà scegliere i 18 CFU in una sola delle **aree** presenti in Tabella II.

**Nota c)** I CFU di tipologia 3 possono essere usufruiti per intero nel secondo semestre, ovvero in parte nel primo e in parte nel secondo semestre. Lo studente potrà attingere, tra l'altro, ad attività formative indicate nelle Tabelle I e II.

**Tabella I**  
**Attività formative curriculari a scelta dello studente – 1° anno**

Insegnamento	Semestre	SSD	CFU	Tipologia	Propedeuticità
Modelli numerici per i campi	1°	ING-IND/31	9	4	
Prototipazione virtuale	2°	ING-IND/15	9	4	
Modellistica e dinamica dei campi	2°	ING-INF/02	9	4	

**Tabella II**  
**Attività formative curriculari a scelta dello studente – 2° anno**

<b>Area</b>	<b>Insegnamento</b>	<b>Modulo</b>	<b>SSD</b>	<b>CFU</b>	<b>Tipologia</b>	<b>Propedeuticità</b>
<b>Il Anno – 2° semestre</b>						
<b>Automation &amp; Control Engineering</b>	Control lab		ING-INF/04	6	2	Complementi di controlli
<b>Automation &amp; Control Engineering</b>	Advanced control engineering	Control of complex systems and networks	ING-INF/04	6	2	Dinamica e controllo nonlineare
		Discrete event systems and supervisory control	ING-INF/04	6	2	
<b>Robotics</b>	Robotics lab		ING-INF/04	6	2	Fondamenti di robotica
<b>Robotics</b>	Advanced robotics	Robot interaction control	ING-INF/04	6	2	Dinamica e controllo nonlineare Fondamenti di robotica
		Field and service robotics	ING-INF/04	6	2	

**Tabella III**  
**Attività formative disponibili per la scelta autonoma dello studente**

Insegnamento	Modulo	SSD	CFU	Sem.	CdS di riferimento
Un insegnamento di Tabella II		ING-INF/04	6	II	LM Ing. Automazione
Advanced computer programming		ING-INF/05	6	II	LM Ing. Informatica
Basi di dati		ING-INF/05	9	I	L Ing. Elettronica
Biometric systems		INF/01 (Area Didattica di Scienze)	6	II	LM Informatica
Circuiti per DSP		ING-INF/01	9	II	LM Ing. Elettronica
Cloud and datacenter networking		ING-INF/05	3	I	LM Ing. Informatica
Cognitive computing systems		ING-INF/05	6	II	LM Ing. Informatica
Computer system design		ING-INF/05	9	II	LM Ing. Informatica
Computer vision		INF/01 (Area Didattica di Scienze)	6	I	LM Informatica
Control architectures for autonomous driving	Control systems for autonomous ground vehicles	ING-INF/04	6	I	LM Autonomous Vehicle Engineering
	Mobile robots		6	II	
Data mining		ING-INF/05	6	I	LM Ing. Informatica
Distributed systems		ING-INF/05	6	I	LM Ing. Informatica
Dinamica e controllo dei velivoli		ING-IND/03	6	I	LM Ing. Automazione
Elaborazione di segnali multimediali		ING-INF/03	9	II	LM Ing. TLC
Embedded systems		ING-INF/05	6	II	LM Ing. Informatica
Human-robot interaction		INF/01 (Area Didattica di Scienze)	6	I	LM Informatica
Image processing for computer vision		ING-INF/03	9	II	LM Ing. TLC
Ingegneria del software		ING-INF/05	9	II	L Ing. Informatica
Intelligent robotics		INF/01 (Area Didattica di Scienze)	6	II	LM Informatica
Introduzione ai circuiti quantistici		ING-IND/31	9	I	LM Ing. Elettronica
Instrumentation and measurements for smart industry		ING-INF/07	9	II	LM Ing. Elettronica
Intelligenza artificiale		ING-INF/05	6	II	L Informatica
Machine learning	Statistical learning	INF/01 (Area Didattica di Scienze)	6	I	LM. Informatica
	Neural networks and deep learning		6	II	
Methods for artificial intelligence		INF/01 (Area Didattica di Scienze)	6	II	LM Informatica
Metodi formali		ING-INF/05	3	II	LM Ing. Informatica
Nonlinear systems		ING-INF/04	6	II	LM Math. Eng.
Plasmi e fusione termonucleare		ING-IND/31	9	I	LM Ing. Elettrica
Power devices and circuits		ING-INF/01	9	I	LM Ing. Elettronica
Progettazione dei sistemi di controllo su rete		ING-INF/04	6	II	LM Ing. Automazione
Progettazione e sviluppo di prodotto		ING-IND/15	9	I	LM Ing. Meccanica Prog. Prod.
Radiolocalizzazione terrestre e satellitare		ING-INF/03	9	II	LM Ing. TLC
Reti di calcolatori		ING-INF/05	6	I	L Ing. TLC
Ricerca operativa II		MAT/09	9	II	LM Ing. Gestionale
Robotics for bioengineering		ING-INF/04	6	II	LM Ind. Bioengineering
Robotica medica		ING-IND/34	9	II	LM Ing. Biomedica
Social, ethical and psychological issues in artificial intelligence		INF/01 (Area Didattica di Scienze)	6	I	LM Informatica
Statistical learning and data mining		SECS-S/01	6	II	LM Ing. Automazione
Tomografia e imaging: principi, algoritmi e metodi numerici		ING-INF/02	9	I	LM Ing. TLC

(\*) **Legenda delle tipologie delle attività formative ai sensi del DM 270/04**

Attività formativa	1	2	3	4	5	6	7
rif. DM 270/04	Art. 10 1, a)	Art. 10 1, b)	Art. 10 5, a)	Art. 10 5, b)	Art. 10 5, c)	Art. 10 5, d)	Art. 10 5, e)

## **Calendario delle attività didattiche - a.a. 2021/2022**

	<b>Inizio</b>	<b>Termine</b>
<b>1° periodo didattico</b>	20 settembre 2021	17 dicembre 2021
<b>1° periodo di esami (2 sedute)</b>	18 dicembre 2021	26 febbraio 2022
<b>Finestra esami di marzo</b>	2 marzo 2022	31 marzo 2022
<b>2° periodo didattico</b>	7 marzo 2022	19 giugno 2022
<b>2° periodo di esami (2 sedute)</b>	11 giugno 2022	30 luglio 2022
<b>3° periodo di esami (1 seduta)</b>	1 settembre 2022	30 settembre 2021
<b>Finestra esami di ottobre</b>	1 ottobre 2022	31 ottobre 2022

### **Referenti del Corso di Studi**

Coordinatore Didattico del Corso di Studio in Ingegneria dell'Automazione:  
Prof. Gianmaria De Tommasi – Dipartimento di Ingegneria Elettrica e delle Tecnologie dell'Informazione - tel. 081/7683853 – e-mail: [gianmaria.detommasi@unina.it](mailto:gianmaria.detommasi@unina.it)

Referente del Corso di Studio per il Programma ERASMUS: Ing. Pietro De Lellis – Dipartimento di Ingegneria Elettrica e delle Tecnologie dell'Informazione - tel. 081/7683862 – e-mail: [pietro.delellis@unina.it](mailto:pietro.delellis@unina.it)

Responsabile del Corso di Laurea per i tirocini: Prof. Gianmaria De Tommasi – Dipartimento di Ingegneria Elettrica e delle Tecnologie dell'Informazione - tel. 081/7683853 – e-mail: [gianmaria.detommasi@unina.it](mailto:gianmaria.detommasi@unina.it)

## Attività formative

<b>Insegnamento:</b> Advanced control engineering			
<b>Modulo:</b> Control of complex systems and networks			
<b>CFU:</b> 6		<b>SSD:</b> ING-INF/04	
<b>Ore di lezione:</b> 40		<b>Ore di esercitazione:</b> 8	
<b>Anno di corso:</b> II			
<b>Obiettivi formativi:</b> Il modulo di Controllo di Reti e Sistemi Complessi intende fornire un insieme di 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.			
<b>Contenuti:</b> Introduzione ai sistemi complessi. Richiami di teoria delle matrici non negative: proprietà di convergenza, teorema di Perron-Frobenius, teorema dei dischi di Geršgorin. Elementi di teoria dei grafi: definizione di grafo (orientato e non orientato) e delle sue proprietà topologiche: distribuzione del grado, misure di connettività e di clustering, geodesico; resilienza di un grafo; tecniche di condensazione dei grafi; definizione e proprietà della matrice di adiacenza e della matrice Laplaciana associata ad un grafo; Legami tra le proprietà delle matrici e quelle dei grafi. Metodi per la generazione di topologie sintetiche di connessione. Sistemi complessi: reti di sistemi lineari. Problema del consenso in reti di agenti dinamici: caso tempo discreto e caso tempo continuo. Condizioni necessarie e sufficienti per la convergenza verso il consenso. Interpretazione delle condizioni trovate sul grafo. Esercitazione sul modello di Leslie. Velocità di convergenza al consenso. Consenso su topologie di connessione tempo-varianti. Assenza di connettività puntuale. Reti complesse di sistemi dinamici non lineari. Modello con accoppiamento diffusivo. Analisi del comportamento asintotico: sincronizzazione. Analisi basate sulla teoria di Lyapunov. Legami tra proprietà topologiche e sincronizzabilità: reti di circuiti di Chua e di oscillatori di Kuramoto. Controllo centralizzato e decentralizzato di reti complesse: tecniche di controllo pinning. Scelta dei guadagni di controllo in funzione dei parametri topologici della rete. Applicazioni.			
<b>Codice:</b>		<b>Semestre:</b> II	
<b>Propedeuticità:</b>			
<b>Metodo didattico:</b> Lezioni ed esercitazioni in laboratorio numerico			
<b>Materiale didattico:</b> [1] Bullo, F.: Lectures on Network Systems. Version 0.95, electronic version (2017). With contributions by J. Cortes, F. Dorfler, and S. Martinez. <a href="http://motion.me.ucsb.edu/book-Ins">http://motion.me.ucsb.edu/book-Ins</a> [2] M. E. J. Newman, A. L. Barabasi, and D. J. Watts, The structure and dynamics of complex networks, Princeton University Press, 2006. [3] Materiale disponibile sul sito <a href="http://www.docenti.unina.it">www.docenti.unina.it</a>  <i>Per approfondimenti:</i> [4] Siljak, D. D. Decentralized control of complex systems. Courier Corporation, 2011. [5] A. Barrat, M. Barthelemy, A. Vespignani, Dynamical Processes on Complex Networks, Cambridge University Press, 2008. [6] Uri Alon lab dataset. Disponibile su <a href="http://www.weizmann.ac.il">http://www.weizmann.ac.il</a> [7] Pajek's dataset Available at: <a href="http://vlado.fmf.uni-lj.si/pub/networks/data">http://vlado.fmf.uni-lj.si/pub/networks/data</a>			
<b>MODALITÀ DI ESAME</b>			
<input type="checkbox"/> L'esame si articola in prova	<input type="checkbox"/> Scritta e orale	<input type="checkbox"/> Solo scritta	<input checked="" type="checkbox"/> Solo orale



In caso di prova scritta i quesiti sono (*)	A risposta multipla		A risposta libera		Esercizi numerici	
<b>Altro</b> (es: sviluppo progetti, prova al calcolatore ...)	Sviluppo di un progetto di analisi, controllo e simulazione di una rete complessa					
(*) È possibile rispondere a più opzioni						

<b>Insegnamento:</b> Advanced control engineering						
<b>Modulo:</b> Discrete event systems and supervisory control						
<b>CFU:</b> 6	<b>SSD:</b> ING-INF/04					
<b>Ore di lezione:</b> 40	<b>Ore di esercitazione:</b> 8					
<b>Anno di corso:</b> II						
<b>Obiettivi formativi:</b> Il corso di Sistemi ad Eventi Discreti (SED) intende fornire un insieme di strumenti formali per la modellistica, la verifica e il controllo dei SED, sia logici che temporizzati. I SED sono sistemi dinamici non-lineari a spazio di stato discreto, la cui evoluzione dinamica dipende dall'occorrenza di determinati eventi.						
<b>Contenuti:</b> <b>1.</b> Introduzione: Sistemi e modelli; Concetto di stato e modelli dinamici; Sistemi ad eventi discreti; Modelli logici, temporizzati e stocastici; <b>2.</b> Linguaggi e automi: Definizione di linguaggio; Operazioni definite sui linguaggi; Definizione di automa; Linguaggi generati e marcati da automi; Operazioni definite sui automi; Automi logici non deterministici; Automa osservatore; Diagnosticabilità per automi a stati finiti e automa diagnosticatore; Espressioni regolari; Il teorema di Kleene; Pumping lemma per linguaggi regolari; Grammatiche di Chomsky – cenni; Decidibilità e complessità – cenni; <b>3.</b> Automi temporizzati deterministici; <b>4.</b> Automi temporizzati stocastici; <b>5.</b> Reti di Petri: Definizione di rete di Petri e di sistema rete di Petri; Linguaggio generato da una rete di Petri; Insieme di raggiungibilità e equazione di stato; Grafo di raggiungibilità e grafo di copertura; Proprietà comportamentali; Stima dell'insieme di raggiungibilità mediante equazione di stato e vettori invarianti; Classi di reti di Petri; <b>6.</b> Reti di Petri temporizzate; <b>7.</b> Controllo supervisivo; <b>8.</b> Controllo di reti di Petri mediante monitor; <b>9.</b> Cenni sull'opacità in sistemi ad eventi discreti.						
<b>Contents:</b> <b>1.</b> Introduction on discrete event systems <b>2.</b> Languages and automata <b>3.</b> Timed (deterministic) automata; <b>4.</b> Stochastic automata; <b>5.</b> Petri nets; <b>6.</b> Timed Petri nets; <b>7.</b> Supervisory control; <b>8.</b> Supervisory control with Petri nets via Generalized Mutual Exclusion Constraints (GMEC); <b>9.</b> Overview on opacity in discrete event systems						
<b>Codice:</b>	<b>Semestre:</b> II					
<b>Propedeuticità:</b>						
<b>Metodo didattico:</b> Lezioni ed esercitazioni in aula						
<b>Materiale didattico:</b> [1] C. G. Cassandras e S. Lafortune, <i>Introduction to Discrete Event Systems</i> . Springer, 1999. [2] A. Di Febbraro e A. Giua, <i>Sistemi ad eventi discreti</i> . McGraw-Hill, 2002. [3] S. Haar e T. Masopust, <i>Control of Discrete-Event Systems</i> . Springer, 2013. <i>Capitolo 2: Languages, Decidability, and Complexity</i> . [4] S. Arora e B. Barak, <i>Computational complexity: A modern approach</i> . Princeton University Press, 2009. [5] Materiale disponibile alla <a href="http://wpage.unina.it/detommas/sed.html">pagina http://wpage.unina.it/detommas/sed.html</a> .						
<b>MODALITÀ DI ESAME</b>						
L'esame si articola in prova	Scritta e orale	X	Solo scritta		Solo orale	
In caso di prova scritta i quesiti sono (*)	A risposta multipla		A risposta libera	X	Esercizi numerici	X
Altro (es: sviluppo progetti, prova al calcolatore ...)						
(*) È possibile rispondere a più opzioni						

<b>Insegnamento:</b> Advanced robotics									
<b>Modulo:</b> Field and service robotics									
<b>CFU:</b> 6			<b>SSD:</b> ING-INF/04						
<b>Ore di lezione:</b> 40			<b>Ore di esercitazione:</b> 8						
<b>Anno di corso:</b> II									
<b>Obiettivi formativi:</b> Il corso di Robotica per l'esplorazione e i servizi si propone di fornire una panoramica sugli strumenti utilizzati per la modellistica, la pianificazione ed il controllo di robot mobili e droni (aerei e sottomarini) a guida autonoma.									
<b>Contenuti:</b> 1. Robotica per l'esplorazione e per i servizi. 2. Robot mobili. 3. Vincoli anolonomi. 4. Modello cinematico. 5. Modello dinamico. 6. Pianificazione. 7. Controllo del moto. 8. Odometria. 9. Pianificazione del moto. 10. Spazio delle configurazioni. 11. Pianificazione mediante ritrazione. 12. Pianificazione mediante decomposizione in celle. 13. Pianificazione probabilistica. 14. Pianificazione mediante potenziali artificiali. 15. Robot aerei. 16. Modello dinamico. 17. Sensori e attuatori. 18. Effetti aereodinamici. 19. Controllo di droni a guida autonoma. 20. Stimatori di disturbi esterni. 21. Manipolazione aerea. 22. Robot sottomarini. 23. Modello dinamico. 24. Sensori e attuatori. 25. Controllo di robot sottomarini a guida autonoma.									
<b>Contents:</b> 1. Field and service robotics. 2. Mobile robots. 3. Nonholonomic constraints. 4. Kinematic model. 5. Dynamic model. 6. Planning. 7. Motion control. 8. Odometry. 9. Motion planning. 10. Configuration space. 11. Planning via retraction. 12. Planning via cell decomposition. 13. Probabilistic planning. 14. Planning via artificial potentials. 15. Aerial robots. 16. Dynamic model. 17. Sensors and actuators. 18. Aerodynamic effects. 19. Control of unmanned aerial vehicles. 20. External wrench estimators. 21. Aerial manipulation. 22. Underwater robots. 23. Dynamic model. 24. Sensors and actuators. 25. Control of autonomous underwater vehicles.									
<b>Codice:</b>			<b>Semestre:</b> II						
<b>Propedeuticità:</b>									
<b>Metodo didattico:</b> Lezioni ed esercitazioni in aula									
<b>Materiale didattico:</b> [1] B. Siciliano, L. Sciavicco, L. Villani, G. Oriolo, <i>Robotics. Modelling, Planning and Control</i> , Springer, 2009, ISBN 9781846286421 [2] G. Antonelli, <i>Underwater Robots</i> , 4 <sup>th</sup> edition, Springer-Verlag, Heidelberg, 2018, ISBN 9783319778990 [3] Materiale disponibile alla pagina del docente									
<b>MODALITÀ DI ESAME</b>									
<b>L'esame si articola in prova</b>		<b>Scritta e orale</b>		<b>Solo scritta</b>		<b>Solo orale</b>		<b>X</b>	
<b>In caso di prova scritta i quesiti sono (*)</b>		<b>A risposta multipla</b>		<b>A risposta libera</b>		<b>Esercizi numerici</b>			
<b>Altro</b> (es: sviluppo progetti, prova al calcolatore ...)		Sviluppo di un elaborato/progetto tecnico da presentare e discutere durante la seduta orale.							
(*) È possibile rispondere a più opzioni									

<b>Insegnamento:</b> Advanced robotics									
<b>Modulo:</b> Robot interaction control									
<b>CFU:</b> 6		<b>SSD:</b> ING-INF/04							
<b>Ore di lezione:</b> 40		<b>Ore di esercitazione:</b> 8							
<b>Anno di corso:</b> II									
<b>Obiettivi formativi:</b> Il corso di Controllo dell'interazione di robot si propone l'obiettivo di fornire le competenze per il controllo dell'interazione tra robot e ambienti scarsamente strutturati, attraverso il controllo in forza, il controllo visuale, la manipolazione e la cooperazione.									
<b>Contenuti:</b> 1. Interazione di un manipolatore con l'ambiente. 2. Controllo di cedevolezza. 3. Controllo di impedenza. 4. Controllo di forza. 5. Controllo parallelo forza/moto. 6. Moto vincolato. 7. Vincoli naturali e vincoli artificiali. 8. Controllo ibrido forza/moto. 9. Visione per il controllo. 10. Elaborazione dell'immagine. 11. Stima della posa. 12. Visione stereo. 13. Calibrazione di una telecamera. 14. Il problema del controllo visuale. 15. Controllo visuale nello spazio operativo. 16. Controllo visuale nello spazio delle immagini. 17. Controllo visuale ibrido. 18. Manipolazione robotica. 19. Modelli di contatto. 20. Modelli di attrito. 21. Definizione delle prese. 22. Forze interne e forze esterne. 23. Modelli cinematico e dinamico di un sistema costituito da robot cooperanti e oggetto manipolato. 24. Controllo e pianificazione di un compito di manipolazione.									
<b>Contents:</b> 1. Manipulator interaction with environment. 2. Compliance control. 3. Impedance control. 4. Force control. 5. Parallel force/motion control. 6. Constrained motion. 7. Natural constraints and artificial constraints. 8. Hybrid force/motion control. 9. Vision for control. 10. Image processing. 11. Pose estimation. 12. Stereo vision. 13. Camera calibration. 14. The visual control problem. 15. Position-based visual servoing. 16. Image-space visual servoing. 17. Hybrid visual servoing. 18. Robotic manipulation. 19. Contact models. 20. Friction models. 21. Grasp definition. 22. Internal forces and external forces. 23. Kinematic and dynamic models of a system of cooperating robots and manipulated object. 24. Planning and control of a manipulation task.									
<b>Codice:</b>		<b>Semestre:</b> II							
<b>Propedeuticità:</b>									
<b>Metodo didattico:</b> Lezioni ed esercitazioni in aula									
<b>Materiale didattico:</b> [1] B. Siciliano, L. Sciavicco, L. Villani, G. Oriolo, <i>Robotics. Modelling, Planning and Control</i> , Springer, 2009, ISBN 9781846286421 [2] K.M. Lynch, F.C. Park, <i>Modern Robotics: Mechanics, Planning, and Control</i> , Cambridge University Press, 2017, ISBN 9781107156302 [3] B. Siciliano, <i>Foundations of Robotics II</i> , MOOC disponibile sulla piattaforma <a href="http://www.federica.eu">www.federica.eu</a> [4] Materiale disponibile alla pagina del docente									
<b>MODALITÀ DI ESAME</b>									
<b>L'esame si articola in prova</b>		<b>Scritta e orale</b>		<b>Solo scritta</b>		<b>Solo orale</b>		<b>X</b>	
<b>In caso di prova scritta i quesiti sono (*)</b>		<b>A risposta multipla</b>		<b>A risposta libera</b>		<b>Esercizi numerici</b>			
<b>Altro</b> (es: sviluppo progetti, prova al calcolatore ...)									
(*) È possibile rispondere a più opzioni									

<b>Insegnamento:</b> Complementi di controlli							
<b>CFU:</b> 6		<b>SSD:</b> ING-INF/04					
<b>Ore di lezione:</b> 40		<b>Ore di esercitazione:</b> 8					
<b>Anno di corso:</b> I							
<b>Obiettivi formativi:</b> Fornire allo studente la preparazione teorico/pratica per l'analisi ed il controllo di sistemi lineari multivariabili.							
<b>Contenuti:</b> 1. Analisi e proprietà strutturali dei sistemi lineari: Autovalori, autovettori e diagonalizzazione di una matrice. Polinomio caratteristico e polinomio minimo. Decomposizione modale della matrice di transizione. La risposta dei sistemi lineari tempo-varianti. Raggiungibilità, controllabilità e osservabilità. Forme canoniche per sistemi lineari. Test per la controllabilità e l'osservabilità di sistemi lineari tempo-invarianti. Poli e zeri di sistemi multivariabili. 2. Stabilità: Punti di equilibrio. Caratterizzazione qualitativa dei punti di equilibrio. Stabilità di Lyapunov dei sistemi lineari. L'equazione matriciale di Lyapunov. Approccio ingresso-uscita alla stabilità. 3. Retroazione di stato ed osservatori dello stato: Assegnamento degli autovalori. Stima dello stato ed osservatori. Leggi di controllo basate sull'uso della retroazione di stato e degli osservatori. Principio di separazione per l'assegnamento degli autovalori. 4. Controllo ottimo: Cenni sull'ottimizzazione statica. Formulazione del problema del controllo ottimo a ciclo aperto e a ciclo chiuso. Il principio del Massimo. L'equazione di Hamilton-Jacobi. Il controllo Lineare Quadratico (LQ). Robustezza dei regolatori (LQ). Cenni sul Controllo ottimo LQG ed $H_\infty$ . 5. Tecniche per la progettazione di sistemi di controllo multivariabili: Specifiche dei requisiti di prestazioni e robustezza attraverso il condizionamento della funzione d'anello, uso pratico del controllo LQG e del controllo $H_\infty$ per la progettazione di sistemi di controllo							
<b>Contents:</b> 1. Analysis and structural properties of linear systems. 2. Stability theory for linear systems 3. State feedback, Observer and Pole assignment. 4. Optimal Control. 5. Loop shaping and practical use of the LQG and $H_\infty$ control theories for the design of multivariable control systems.							
<b>Codice:</b> U1953		<b>Semestre:</b> I					
<b>Propedeuticità:</b>							
<b>Metodo didattico:</b> Lezioni ed esercitazioni numeriche in aula							
<b>Materiale didattico:</b> [1] L. Magni, R. Scattolini, Complementi di Controlli Automatici, Pitagora Editrice Bologna [2] P. J. Antsaklis, A. N. Michel, <i>Linear Systems</i> , McGraw-Hill Companies, 1997 [3] F.L. Lewis, D.L. Vrabie, V.L. Syrmos, <i>Optimal Control</i> , 3 <sup>rd</sup> ed., Wiley							
<b>MODALITÀ DI ESAME</b>							
L'esame si articola in prova		Scritta e orale	X	Solo scritta		Solo orale	
In caso di prova scritta i quesiti sono (*)		A risposta multipla		A risposta libera	X	Esercizi numerici	X
Altro (es: sviluppo progetti, prova al calcolatore ...)							
(*) È possibile rispondere a più opzioni							

<b>Insegnamento:</b> Complementi di meccanica					
<b>CFU:</b> 9		<b>SSD:</b> ING-IND/13			
<b>Ore di lezione:</b> 66		<b>Ore di esercitazione:</b> 6			
<b>Anno di corso:</b> I					
<b>Obiettivi formativi:</b> Fornire allo studente, nozioni su alcuni fenomeni meccanici che si possono verificare negli organi di macchine e le nozioni fondamentali per la progettazione di organi meccanici e tecniche di monitoraggio e diagnostica durante il loro funzionamento. Sono, inoltre, trattati elementi di base della meccanica dei Robot.					
<b>Contenuti:</b> 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 e velocità critiche flessionali. Bilanciamento dei rotori rigidi e macchine bilanciatrici. Cenni sul bilanciamento dei rotori elastici. Elementi di Tribologia. Cuscinetti. Studio del comportamento cinematico e dinamico di sistemi meccanici mediante simulazione al calcolatore. Criteri di progettazione di elementi meccanici. Trasformata Wavelet ed applicazioni. Elementi di diagnostica di sistemi meccanici complessi. Esempio di progettazione di un sistema meccanico. Descrizione e principi di funzionamento di un robot. Attuatori ed altri componenti meccanici per l'automazione. Sistemi articolati piani. Problema cinematico diretto ed inverso. Calibrazione cinematica. Statica del braccio. Equazioni di equilibrio dinamico di un manipolatore a più gradi di libertà. Problema dinamico diretto ed inverso. Matrici delle azioni, le forze che agiscono sui link, equilibrio dinamico dei segmenti. Dinamica di manipolatori non rigidi. Pianificazione delle leggi del moto e delle traiettorie di un robot ed esercitazioni di laboratorio sulla visualizzazione delle traiettorie. Cenni sulla progettazione meccanica di un robot seriale. Integrazione tra sistemi di visione e manipolatori. Esperienze di laboratorio.					
<b>Codice:</b> 17062		<b>Semestre:</b> I			
<b>Propedeuticità:</b> Fondamenti di Meccanica					
<b>Metodo didattico:</b> Lezioni ed esercitazioni in aula					
<b>Materiale didattico:</b> Libro di testo: Vincenzo Niola, Giuseppe Quarenba - <i>“Elementi di dinamica non lineare di sistemi meccanici per l'Ingegneria. Dalla Trasformata Wavelet alla Teoria del Chaos”</i> , Libro di testo: Vincenzo Niola, Giuseppe Quarenba - <i>“Sistemi Vibrazionali Complessi. Teoria, Applicazioni e metodologie Innovative di analisi”</i> . Dispense disponibili sul sito dal docente.					
<b>MODALITÀ DI ESAME</b>					
<b>L'esame si articola in prova</b>		<b>Scritta e orale</b>	<b>X</b>	<b>Solo scritta</b>	
				<b>Solo orale</b>	
<b>In caso di prova scritta i quesiti sono (*)</b>		<b>A risposta multipla</b>		<b>A risposta libera</b>	<b>X</b>
<b>Altro</b> (es: sviluppo progetti, prova al calcolatore ...)				<b>Esercizi numerici</b>	<b>X</b>
(*) È possibile rispondere a più opzioni					

<b>Insegnamento:</b> Control lab			
<b>Modulo:</b>			
<b>CFU:</b> 6	<b>SSD:</b> ING-INF/04		
<b>Ore di lezione:</b> 40	<b>Ore di esercitazione:</b> 8		
<b>Anno di corso:</b> II			
<b>Obiettivi formativi:</b> 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 presenti nel laboratorio.			
<b>Contenuti:</b> Modellistica e simulazione dei sistemi dinamici in ambiente Matlab/Simulink. Identificazione dei sistemi dinamici con l'ausilio di Matlab/Simulink. Progettazione di controllori in retroazione e prototipazione rapida con Matlab/Simulink. Programmazione di schede a microcontrollore (Arduino, STM32). Problemi di condizionamento dei segnali. Esperienze di modellazione, identificazione, simulazione e controllo utilizzando i set-up sperimentali del laboratorio.			
<b>Contents:</b> Modeling and simulation of dynamical systems in the Matlab/Simulink environment Identification of dynamical systems by using Matlab/Simulink. Feedback controller design and rapid prototyping with Matlab/Simulink. Microcontroller boards programming (Arduino, STM32). Signal conditioning problems. Modeling, identification, simulation and control experiences by using the laboratory experimental set-ups.			
<b>Codice:</b>	<b>Semestre:</b> II		
<b>Propedeuticità:</b>			
<b>Metodo didattico:</b> Lezioni ed esercitazioni in Laboratorio			
<b>Materiale didattico:</b> [1] Materiale disponibile sul sito web docenti e sulla piattaforma WeSchool.			
<b>MODALITÀ DI ESAME</b>			
<b>L'esame si articola in prova</b>	<b>Scritta e orale</b>	<input type="checkbox"/>	<b>Solo scritta</b>
			<input type="checkbox"/>
			<b>Solo orale</b>
			<input checked="" type="checkbox"/>
<b>In caso di prova scritta i quesiti sono (*)</b>	<b>A risposta multipla</b>	<input type="checkbox"/>	<b>A risposta libera</b>
			<input type="checkbox"/>
			<b>Esercizi numerici</b>
			<input type="checkbox"/>
<b>Altro</b> (es: sviluppo progetti, prova al calcolatore ...)	Sviluppo di un progetto		
(*) È possibile rispondere a più opzioni			

<b>Insegnamento:</b> Controllo di macchine e azionamenti elettrici									
<b>CFU:</b> 9			<b>SSD:</b> ING-IND/32						
<b>Ore di lezione:</b> 62			<b>Ore di esercitazione:</b> 10						
<b>Anno di corso:</b> I									
<b>Obiettivi formativi:</b> Provvedere alla formazione di base degli studenti per consentire loro l'estensivo uso dei modelli matematici di macchine ed azionamenti elettrici per l'analisi dinamica del loro comportamento									
<b>Contenuti:</b> Teoria dei vettori spaziali; Determinazione campo magnetico al traferro per macchine isotrope ed anisotrope; Determinazione modello generalizzato delle macchine cilindriche isotrope ed anisotrope; Modelli ai componenti simmetrici delle macchine Asincrone, Sincrone e Brushless; analisi delle caratteristiche di funzionamento da motore, generatore e freno; modelli matematici tempo varianti delle principali strutture di conversione statica dell'energia: Convertitori Dc-Dc, Convertitori Ac-Dc, e Dc-A. Tecniche di modulazione e controllo per i convertitori statici; Architetture Hardware e Software per il pilotaggio degli azionamenti elettrici; Elementi di microcontrollori per implementazione real-time di algoritmi di controllo, Piattaforma DSPACE, Esempi applicativi di simulazione ed implementazione di algoritmi di controllo in laboratorio; Progettazione controllo vettoriale su piattaforma di controllo DSPACE.									
<b>Docente:</b> Prof. Diego Iannuzzi									
<b>Codice:</b>			<b>Semestre:</b> I						
<b>Propedeuticità:</b>									
<b>Metodo didattico:</b> Lezioni ed esercitazioni in laboratorio									
<b>Materiale didattico:</b> L. Fusco, D. Iannuzzi, E. Pagano, L. Piegari, <i>Macchine Elettriche – Esercizi, prove di laboratorio e nozioni complementari di teoria</i> , Liguori Ed., 2003 E. Pagano, P. Tricoli, <i>Nozioni Complementari di Macchine Elettriche ed Azionamenti Elettrici</i> , Liguori Ed., 2010 A. Del Pizzo, <i>Azionamenti Elettrici Volume 1,2,3 – Lezioni del Corso di Azionamenti Elettrici</i> , Editore EDISU N. Mohan, T.M. Undeland, W.P. Robbins, <i>Power Electronics: Converters, Applications, and Design</i> , Hoepli									
<b>MODALITÀ DI ESAME</b>									
<b>L'esame si articola in prova</b>		<b>Scritta e orale</b>		<b>Solo scritta</b>		<b>Solo orale</b>		<b>X</b>	
<b>In caso di prova scritta i quesiti sono (*)</b>		<b>A risposta multipla</b>		<b>A risposta libera</b>		<b>Esercizi numerici</b>			
<b>Altro</b> (es: sviluppo progetti, prova al calcolatore ...)									
(*) È possibile rispondere a più opzioni									



<b>Insegnamento:</b> Dinamica e controllo nonlineare	
<b>Modulo:</b>	
<b>CFU:</b> 6	<b>SSD:</b> ING/INF-04
<b>Ore di lezione:</b> 36	<b>Ore di esercitazione:</b> 12
<b>Anno di corso:</b> II	
<b>Obiettivi formativi:</b> 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.	
<b>Contenuti:</b> Introduzione ai sistemi dinamici non lineari. Applicazioni rappresentative e casi studio. Il piano delle fasi; 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 nonlineari; Feedback Linearization; Controllo Ibrido e discontinuo; Controllo Adattativo e Controllo MRAC; Introduzione al controllo, sincronizzazione e consenso di reti complesse e sistemi multiagente.	
<b>Codice:</b> 17066	<b>Semestre:</b> I
<b>Propedeuticità:</b>	
<b>Metodo didattico:</b> Lezioni ed esercitazioni	
<b>Materiale didattico:</b> 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	

<b>Insegnamento:</b> Fondamenti di robotica					
<b>CFU:</b> 9		<b>SSD:</b> ING-INF/04			
<b>Ore di lezione:</b> 60		<b>Ore di esercitazione:</b> 12			
<b>Anno di corso:</b> II					
<b>Obiettivi formativi:</b> Il corso di Fondamenti di robotica si propone di fornire le competenze di base per la modellistica, la pianificazione e il controllo del moto dei robot.					
<b>Contenuti:</b> 1. Robotica industriale e robotica avanzata. 2. Descrizione e principi di funzionamento di un robot. 3. Cinematica diretta. 4. Calibrazione cinematica. 5. Cinematica differenziale e Jacobiano. 6. Ridondanza e singolarità. 7. Algoritmi per l'inversione cinematica. 8. Dualità cineto-statica. 9. Pianificazione di traiettorie nello spazio dei giunti e nello spazio operativo. 10. Attuatori e sensori. 11. Unità di governo. 12. Modello Lagrangiano. 13. Proprietà notevoli del modello dinamico. 14. Algoritmo ricorsivo di Newton-Eulero. 15. Identificazione dei parametri dinamici. 16. Dinamica diretta e dinamica inversa. 17. Controllo decentralizzato. 18. Controllo indipendente ai giunti. 19. Controllo centralizzato. 20. Controllo a coppia precalcolata. 21. Controllo PD con compensazione di gravità. 22. Controllo a dinamica inversa. 23. Controllo robusto e adattativo. 24. Controllo nello spazio operativo.					
<b>Codice:</b>		<b>Semestre:</b> I			
<b>Propedeuticità:</b>					
<b>Metodo didattico:</b> Lezioni ed esercitazioni in aula					
<b>Materiale didattico:</b> [1] B. Siciliano, L. Sciavicco, L. Villani, G. Oriolo, <i>Robotica – Modellistica, Pianificazione e Controllo</i> , McGraw-Hill Libri Italia, 2008, ISBN 9788838663222 [2] B. Siciliano, <i>Foundations of Robotics I</i> , MOOC disponibile sulla piattaforma <a href="http://www.federica.eu">www.federica.eu</a> [3] B. Siciliano, <i>Foundations of Robotics II</i> , MOOC disponibile sulla piattaforma <a href="http://www.federica.eu">www.federica.eu</a> [4] Materiale disponibile alla pagina del docente					
<b>MODALITÀ DI ESAME</b>					
<b>L'esame si articola in prova</b>	<b>Scritta e orale</b>	<input type="checkbox"/>	<b>Solo scritta</b>	<input type="checkbox"/>	<b>Solo orale</b> <input checked="" type="checkbox"/>
<b>In caso di prova scritta i quesiti sono (*)</b>	<b>A risposta multipla</b>	<input type="checkbox"/>	<b>A risposta libera</b>	<input type="checkbox"/>	<b>Esercizi numerici</b> <input type="checkbox"/>
<b>Altro</b> (es: sviluppo progetti, prova al calcolatore ...)	Elaborato in Matlab/Simulink ®				
(*) È possibile rispondere a più opzioni					

<b>Insegnamento:</b> Identificazione e controllo ottimo	
<b>Modulo:</b>	
<b>CFU:</b> 6	<b>SSD:</b> ING-INF/04
<b>Ore di lezione:</b> 42	<b>Ore di esercitazione:</b> 25% delle ore totali
<b>Anno di corso:</b> I	
<p><b>Obiettivi formativi:</b> Fornire allo studente la preparazione teorico-pratica per l'utilizzo delle tecniche di ottimizzazione e di identificazione nella sintesi di un sistema di controllo per diverse tipologie di processi, con particolare enfasi ai temi di stima e controllo in ambiente incerto.</p>	
<p><b>Contenuti:</b>  <u>Ottimizzazione statica in presenza di incertezza</u>  Modellistica dell'incertezza. Certezza equivalente, metodo del minmax. Lemma fondamentale dell'ottimizzazione stocastica. Ottimizzazione stocastica.  <u>Ottimizzazione dinamica</u>  Processi decisionali a stadi e vincoli dinamici: definizione e significato della funzione obiettivo e metodo di soluzione mediante approccio variazionale. Sistema aggiunto e condizioni necessarie di ottimalità. Il problema del controllo ottimo per sistemi a tempo discreto. Decisioni a stadi successivi. Il caso Lineare Quadratico (LQ). Soluzione per retroazione dello stato e equazione di Riccati. Soluzione del problema regolatore LQ in ciclo chiuso ed in ciclo aperto. Principio di Bellman e Programmazione Dinamica (PD). Soluzione del problema di controllo ottimo discreto attraverso l'algoritmo della Programmazione Dinamica. Applicazione al caso LQ con possibili varianti. Soluzioni asintotiche del problema di controllo ottimo e stabilità del ciclo chiuso.  <u>Ottimizzazione dinamica in presenza di incertezza</u>  Brevi richiami di probabilità e statistica.  Metodi di ottimizzazione statica in presenza di incertezza: Metodo della certezza equivalente e metodo del valore atteso.  Decisioni in presenza di incertezza. Modellistica dell'incertezza. Rumore di misura e rumore di processo. Rumore bianco gaussiano e propagazione del rumore attraverso un sistema dinamico discreto. Processo decisionale a stadi in presenza di incertezza. Cifre di merito incerte. Il valore dell'informazione sullo stato e della soluzione in anello chiuso. Soluzione del problema di ottimizzazione lineare quadratico gaussiano (LQG) via PD.  <u>Stima filtraggio e predizione dello stato</u>  Stima dello stato di un sistema dinamico lineare incerto. Predittore di Kalman. Predittore/correttore/filtro di Kalman. Ottimalità del filtro.  Il filtro di Kalman esteso al caso dei sistemi non lineari.  Il controllo ottimo con retroazione della stima dello stato.  Implementazione in Matlab/Simulink del controllo ottimo per retroazione dello stato. Implementazione in Matlab/Simulink del filtro di Kalman nella sua versione asintotica. Esempi numerici di applicazioni.  <u>Teoria della stima.</u>  Stima parametrica e stima Bayesiana.  <u>Stima parametrica</u>  Modelli di generazione dei dati. Modelli dell'incertezza. Stime e stimatori. Proprietà degli stimatori. Stima a minimi quadrati e stima di Gauss Markov. Qualità della stima ai minimi quadrati. Ortogonalità tra stima ed errore di predizione.  Stima ricorsiva a minimi quadrati. Problemi di implementazione numerica. Stima ricorsiva con fattore di oblio. La stima a minimo scarto quadratico, stima non polarizzata a minima varianza, stimatore lineare non polarizzato a minima varianza.  La stima a massima verosimiglianza.  <u>Stima bayesiana</u>  Il problema della stima bayesiana. Minimizzazione dello scarto quadratico condizionale. Proprietà dello stimatore bayesiano. Stima bayesiana da sorgenti di informazione correlate. Stimatore bayesiano lineare: proprietà.  Il filtro di Kalman come stimatore bayesiano. Innovazione predizione a priori, correzione e aggiornamento della stima.  Relazioni tra stima parametrica ricorsiva e filtraggio ottimale dello stato.  Applicazioni numeriche della teoria della stima con implementazioni in Matlab/Simulink.</p>	

### Identificazione

Modelli per l'identificazione. Richiami sulle rappresentazione in variabili di stato e sulle rappresentazioni ingresso-uscita. Rappresentazioni in termini polinomiali nell'operatore. Errore di modello ed errore di equazione. Modelli ARMAX.

Il problema di identificazione. Identificazione del modello e identificazione parametrica. Accuratezza dei modelli e loro complessità. Validazione del modello identificato ed analisi dei residui.

Rappresentazione di Wold dei processi stocastici stazionari. Modelli stocastici di serie temporali AR, ARX, MA, ARMAX, ARIMAX. Analisi di correlazione e analisi spettrale. Predittori di modelli di serie temporali.

Formulazione del problema di identificazione dei parametri del predittore come problema di stima parametrica.

Identificabilità strutturale e sperimentale

Taratura on-line dei predittori. Controllo adattativo self tuning.

**Codice:** XXXXX

**Semestre:** II

**Propedeuticità:**

**Metodo didattico:** Lezioni ed esercitazioni

### Materiale didattico:

Appunti per le lezioni di Identificazione e Controllo ottimo, disponibili sulla pagina del sito docenti <https://www.docenti.unina.it/FRANCESCO.GAROFALO>

F.L. Lewis, D.L. Vrabie, V.L. Syrmos, *Optimal Control*, 3<sup>rd</sup> ed., Wiley

R.F. Stengel, *Optimal Control and Estimation*, Dover Publication Inc., New York

R. Guidorzi, *Multivariable System Identification: From Observations to Models*, Bononia University Press, 2003

A.E. Bryson Y.C. Ho, *Applied Optimal Control: Optimization, Estimation, and Control*, Taylor & Francis 1975

J. Rice, *Mathematical Statistics and Data Analysis*, Brooks/Cole Pub. Co, 1988

L. Ljung, *System Identification – Theory For the User*, Prentice Hall 1999

### MODALITÀ DI ESAME

L'esame si articola in prova	Scritta e orale	X	Solo scritta		Solo orale	
In caso di prova scritta i quesiti sono (*)	A risposta multipla		A risposta libera		Esercizi numerici	
Altro (es: sviluppo progetti, prova al calcolatore ...)	Prova al calcolatore per la soluzione di un problema numerico					

(\*) È possibile rispondere a più opzioni

<b>Insegnamento:</b> Modellistica e dinamica dei campi									
<b>CFU:</b> 9		<b>SSD:</b> ING-INF/02							
<b>Ore di lezione:</b> 58		<b>Ore di esercitazione:</b> 14							
<b>Anno di corso:</b> II									
<b>Obiettivi formativi:</b> Con principale riferimento all'elettromagnetismo e alla dinamica del continuo, 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 mezzi materiali e dei fenomeni elettromagnetici.									
<b>Contenuti:</b> Richiami di algebra e analisi tensoriale. Descrizione microscopica e macroscopica di un sistema fisico. Il concetto di campo nella descrizione dei sistemi continui e il concetto di forza. Il Campo Elettromagnetico. Conservazione della carica elettrica. Densità di carica e di corrente. Le Equazioni di Maxwell. La Forza di Lorentz. Le Equazioni di Maxwell nei mezzi materiali: equazioni costitutive e loro proprietà. Le Equazioni di Maxwell nel dominio della frequenza e dei fasori. Il Campo Elettromagnetico ed il concetto di energia: i teoremi di Poynting. Impostazione di un problema elettromagnetico. Applicazioni. Introduzione alla Meccanica del Continuo. Elementi di Cinematica del Continuo. Le leggi di bilancio. Le equazioni costitutive dei materiali. Impostazione di un problema di meccanica del continuo. Applicazioni. Un modello di sistema fisico la cui descrizione richiede le leggi fisico-matematiche della dinamica del continuo e dell'elettromagnetismo. Cenni alla meccanica quantistica. Soluzione numerica di un problema di elettromagnetismo e di dinamica del continuo: 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. Semplici esempi di soluzione numerica di problemi reali dell'Elettromagnetismo e della Meccanica del Continuo.									
<b>Codice:</b> U1158		<b>Semestre:</b> II							
<b>Propedeuticità:</b> Nessuna									
<b>Metodo didattico:</b> Lezioni frontali ed esercitazioni in aula e in laboratorio.									
<b>Materiale didattico:</b> 1. G.Franceschetti, Campi elettromagnetici, Bollati Boringhieri, 1988; 2. O. Gonzalez, A.M. Stuart, A First Course in Continuum Mechanics, Cambridge University Press, 2008; 3. Appunti dalle Lezioni.									
<b>MODALITÀ DI ESAME</b>									
<b>L'esame si articola in prova</b>		<b>Scritta e orale</b>		<b>Solo scritta</b>		<b>Solo orale</b>		<b>X</b>	
<b>In caso di prova scritta i quesiti sono (*)</b>		<b>A risposta multipla</b>		<b>A risposta libera</b>		<b>Esercizi numerici</b>			
<b>Altro</b> (es: sviluppo progetti, prova al calcolatore ...)									
(*) È possibile rispondere a più opzioni									

<b>Insegnamento:</b> Modelli e metodi della ricerca operativa							
<b>CFU:</b> 6			<b>SSD:</b> MAT/09				
<b>Ore di lezione:</b> 40			<b>Ore di esercitazione:</b> 8				
<b>Anno di corso:</b> I							
<b>Obiettivi formativi:</b> Obiettivo principale del corso è consolidare e ampliare le conoscenze modellistiche ed algoritmiche necessarie per analizzare sistemi complessi e ottimizzare il loro funzionamento per risolvere problemi reali industriali attraverso l'uso di ambienti software di ottimizzazione e simulazione, nelle diverse fasi di studio di un problema, dalla gestione dei dati e dei flussi informativi alla risoluzione del modello formulato e all'analisi ed interpretazione critica dei risultati.							
<b>Contenuti:</b> - 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. - 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, sequenziamento delle operazioni). - 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). - Tecniche reticolari di programmazione e controllo. PERT e CPM. Il corso ha una connotazione metodologica e di laboratorio e prevede lo sviluppo di progetti da parte degli studenti e la soluzione di problemi ottimizzazione con l'utilizzo di strumenti software, tra cui OPL-Cplex e Xpress-IVE.							
<b>Codice:</b> U2335			<b>Semestre:</b> I				
<b>Prerequisiti / Propedeuticità:</b>							
<b>Metodo didattico:</b> Lezioni frontali, seminari, esercitazioni di tipo numerico e di introduzione all'uso di software di ottimizzazione							
<b>Materiale didattico:</b> - A. Sforza, Modelli e Metodi della Ricerca Operativa, 3a ed., ESI, Napoli, 2018. - M. Caramia, S. Giordani, F. Guerriero, R. Musmanno, D. Pacciarelli, "Ricerca Operativa", Iseidi, Italia, 2014. - C. Guéret, C. Prins, M. Sevaux, Applications of optimization with Xpress-MP, Dash Optimization Ltd., 2010. - F. S. Hillier, G. J. Lieberman, Ricerca operativa - Fondamenti, 9/ed., McGraw-Hill, 2010. - Materiale didattico integrativo fornito durante il corso e materiale disponibile on-line.							
<b>Modalità d'esame:</b>							
<b>L'esame si articola in prova:</b>		<b>Scritta e orale</b>	<input checked="" type="checkbox"/>	<b>Solo scritta</b>	<input type="checkbox"/>	<b>Solo orale</b>	<input type="checkbox"/>
<b>In caso di prova scritta i quesiti sono:</b> (è possibile inserire più opzioni)		<b>A risposta multipla</b>	<input type="checkbox"/>	<b>A risposta libera</b>	<input checked="" type="checkbox"/>	<b>Esercizi numerici</b>	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Altro</b> (es: sviluppo progetti, prova al calcolatore ...)							

<b>Insegnamento:</b> Modelli numerici per i campi	
<b>CFU:</b> 9	<b>SSD:</b> ING-IND/31
<b>Ore di lezione:</b> 50	<b>Ore di esercitazione:</b> 22
<b>Anno di corso:</b> II	
<p><b>Obiettivi formativi:</b> Insegnare gli aspetti fondamentali della modellistica numerica e fornire gli strumenti di base per la risoluzione con il calcolatore di problemi di campo. Il linguaggio di programmazione MATLAB® è utilizzato nel laboratorio numerico.</p>	
<p><b>Contenuti:</b> 1. Generalità sui modelli descritti da equazioni alle derivate parziali. Classificazione. Formulazioni integrali. Il caso dell'elettrostatica. 2. Metodo delle Differenze Finite. Equazione di Poisson. Consistenza, stabilità e convergenza. Analisi spettrale. 3. Metodo degli elementi finiti. Formulazioni del problema di campo: forma forte e forma debole; Formulazioni variazionali. Interpolazione polinomiale ed errore di interpolazione. Il metodo di Galerkin. Convergenza. 4. Integrazione numerica. 5. Risoluzione di sistemi di equazioni algebriche. Metodi diretti. Condizionamento e stabilità numerica. Soluzione ai minimi quadrati. Soluzione mediante decomposizione in valori singolari. Matrice pseudoinversa. Problemi di ottimizzazione vincolata: moltiplicatori di Lagrange. Regolarizzazione di Tihonov. Metodi iterativi. Convergenza e Velocità di convergenza. 6. Sistemi di equazioni algebriche non lineari. Iterazione del punto fisso. Metodo di Newton Raphson. Convergenza, stima dell'errore, velocità di convergenza. 7. Sistemi di equazioni differenziali del primo ordine a derivate ordinarie. Il metodo di Eulero. Errore di discretizzazione locale. Consistenza del metodo. Studio della convergenza. Errore globale e stabilità numerica. Il metodo di Eulero implicito. Il metodo theta. 8. Soluzione numerica delle Equazioni di Maxwell: il limite quasi stazionario. L'equazione della diffusione del campo magnetico. Soluzione con il metodo delle differenze finite. Il metodo di Eulero esplicito, implicito e theta. Stabilità. Formulazioni agli elementi finiti nel limite quasi-stazionario. Cenni sugli edge elements. Equazioni delle onde. Formula di D'Alembert. Integrazione esplicita. Analisi di stabilità. Condizione di Courant-Friedrichs-Lewy. Il problema della dispersione numerica.</p>	
<p><b>Contents:</b> 1. Field problems described in terms of partial differential equations. Classification. Integral formulations: the electrostatic case. 2. The Finite Difference Method. Poisson equation. Consistency, stability and convergence. Spectral analysis. 3. The Finite Element Method. Field problems formulation. Strong and weak form. Variational formulations. Polynomial interpolation and interpolation error. Galerkin method. Convergence. 4. Numerical integration. 5. Systems of algebraic equations. Direct methods. Condition number and numerical stability. Least square solution. Singular values decomposition. Pseudo-inverse matrix. Constrained optimization: Lagrange multipliers. Tihonov regularization. Iterative methods. Convergence and convergence speed. 6. Systems of non-linear algebraic equations. Fixed point iteration. Newton-Raphson method. Convergence, convergence speed, error estimate. 7. Dynamical systems. Euler method. Local discretization error. Consistency and convergence. Implicit Euler method. The theta method. 8. Numerical solution of Maxwell equations: the quasi-stationary limit. Magnetic field diffusion equation. Finite difference and finite element solutions. Edge elements. Wave equation. Formula of D'Alembert. Explicit integration. Stability. Condition of Courant-Friedrichs-Lewy. Numerical dispersion.</p>	
<b>Codice:</b> 14759	<b>Semestre:</b> I
<b>Prerequisiti:</b> nessuno.	
<b>Metodo didattico:</b> Lezioni ed esercitazioni.	
<p><b>Materiale didattico:</b>  F. Trevisan, F. Villone, Modelli numerici per campi e circuiti, SGE Padova.  G. Miano, Modelli Numerici per i Campi, dispense disponibili in formato pdf sul sito docente.  V. Comincioli. Analisi numerica: Metodi Modelli Applicazioni. Nuova edizione, in formato e-book, Apogeo, Feltrinelli Milano, 2005  A. Quarteroni, R. Sacco, F. Saleri, P. Gervasio, Matematica Numerica, 4a edizione Springer 2014.  A. Quarteroni, Modellistica Numerica per Problemi Differenziali, 6a edizione Springer 2016</p>	

<b>Modalità d'esame:</b>						
<b>L'esame si articola in prova:</b>	<b>Scritta e orale</b>	<input type="checkbox"/>	<b>Solo scritta</b>	<input type="checkbox"/>	<b>Solo orale</b>	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>In caso di prova scritta i quesiti sono:</b> (è possibile inserire più opzioni)	<b>A risposta multipla</b>	<input type="checkbox"/>	<b>A risposta libera</b>	<input type="checkbox"/>	<b>Esercizi numerici</b>	<input type="checkbox"/>
<b>Altro</b> (es: sviluppo progetti, prova al calcolatore ...)	presentazione di un problema risolto dallo studente					



<b>Insegnamento:</b> Progettazione dei sistemi di controllo su rete									
<b>CFU:</b> 6		<b>SSD:</b> ING-INF/04							
<b>Ore di lezione:</b> 38		<b>Ore di esercitazione:</b> 10							
<b>Anno di corso:</b> II									
<b>Obiettivi formativi:</b> Il corso intende fornire 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 di processi complessi, distribuiti e/o su larga scala. Inoltre le metodologie introdotte saranno illustrate attraverso la progettazione integrata di rappresentativi sistemi cyber-fisici presenti in ambito civile/sociale (Smart City) e industriale (Smart Factory - Industria 4.0).									
<b>Contenuti:</b> Introduzione ai sistemi di controllo su rete. Processi complessi, distribuiti e su larga scala connessi in rete. Sistemi di controllo remoto. Architetture centralizzate, decentralizzate, e distribuite. Definizione e specifiche dei sistemi cyber-fisici. Esempi applicativi. Modello multi-layer di un sistema cyber-fisico: livello "applicazione", livello "rete" e livello "fisico". Progettazione del sistema di controllo a livello "rete". Sintesi di algoritmi per il controllo di traffico, di congestione e bilanciamento del carico. Progettazione del sistema di controllo a livello "applicazione". Sintesi di algoritmi cooperativi per la stima, la gestione e il controllo su rete. Livello "fisico": sistemi di harvesting e autonomia energetica. Effetti dei ritardi di comunicazione, delle perdite dati, del rumore di misura e di canale, e incertezze parametriche sulle prestazioni del sistema cyber-fisico. Analisi di stabilità, convergenza e complessità computazionale degli algoritmi di controllo e stima. Tecniche di ottimizzazione distribuita. Progettazione integrata e dimensionamento di un sistema cyber-fisico. Monitoraggio e controllo distribuito mediante reti di sensori/sistemi mecatronici e swarm di droni. Applicazione delle metodologie introdotte a rappresentative reti cyber-fisiche per le Smart City e le Smart Factory (Industria 4.0).									
<b>Codice:</b> 30212			<b>Semestre:</b> II						
<b>Propedeuticità:</b>									
<b>Metodo didattico:</b> Lezioni frontali, esercitazioni, seminari									
<b>Materiale didattico:</b> [1] Appunti 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 [4] R. Verdone, D. Dardari, G. Mazzini, A. Conti, "Wireless Sensor and Actuator Networks: Technologies. Analysis and Design", Academic Press, 2008									
<b>MODALITA' DI ESAME</b>									
<b>L'esame si articola in prova</b>		<b>Scritta e orale</b>		<b>Solo scritta</b>		<b>Solo orale</b>		<b>X</b>	
<b>In caso di prova scritta i quesiti sono (*)</b>		<b>A risposta multipla</b>		<b>A risposta libera</b>		<b>Esercizi numerici</b>			
<b>Altro</b> (es: sviluppo progetti, prova al calcolatore ...)		Colloquio orale e discussione di un elaborato progettuale.							
(*) E' possibile rispondere a più opzioni									

<b>Insegnamento:</b> Progetto e sviluppo di sistemi in tempo reale	
<b>CFU:</b> 9	<b>SSD:</b> ING-INF/05
<b>Ore di lezione:</b> 58	<b>Ore di esercitazione:</b> 14
<b>Anno di corso:</b> I	
<p><b>Obiettivi formativi:</b>  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 (LINUX real-time - patch RTAI – FreeRTOS, ChibiOS) e progettazione OO di software real-time attraverso il profilo OMG MARTE.</p>	
<p><b>Contenuti:</b>  <b>Concetti Introductivi.</b> Introduzione ai sistemi in tempo reale: campi applicativi. dimensionamento, deadline, sistemi hard e soft real-time, caratteristiche desiderabili; problematiche di progetto e sviluppo.  <b>Prevedibilità dei sistemi di calcolo.</b> Fonti di non determinismo hardware e del Sistema Operativo. Introduzione allo Scheduling. Processo e programma. Schedulazione, fattibilità, schedulabilità, ottimalità, preemption.  <b>Scheduling di task real time.</b> 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.  <b>Accesso a risorse condivise.</b> 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.  <b>Server aperiodici.</b> 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).  <b>Gestione dei sovraccarichi.</b> Carico, valore cumulativo, fattore competitivo. Admission control; robust scheduling, resource reservation con CBS. Algoritmo RED. Job skipping, period adaptation e service adaptation.  <b>Comunicazione Real-time.</b> 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.  <b>Analisi del Worst Case Execution Time.</b> Metodi statici e metodi measurement-based. Bound calculation: path-based, structure-based e implicit path enumeration (IPET). Esempi di tool statici e measurement-based.  <b>Monitoraggio di sistemi real time:</b> Monitoring hardware, software, ibrido, diretto e indiretto. Bounded monitoring, monitoring slack-based, rule-based logging. Real time data streaming con Storm.  <b>Sistemi Mixed-Criticality:</b> modello di Vestal per task multi-criticality, fattibilità e scheduling di task a criticità mista, metodo di Audsely. Scheduling gerarchico. Piattaforme per sistemi mixed-criticality: Xratum, PikeOS e RT-XEN.  <b>Real Time Operating Systems (RTOS):</b> 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 RTAI. Sviluppo di applicazioni concorrenti real-time in RTAI.  <b>Standard e Certificazioni.</b> La standardizzazione, standard per RTOS: RT-POSIX, OSEK, AUTOSAR, ARINC, MICRO-ITRON. Standard di certificazione: DO-178B, IEC61508.  <b>Progettazione di Sistemi Real Time con SysML e OMG MARTE.</b> Model driven engineering. UML2 ed estensioni: profili, metamodelli e stereotipi. Progettazione con SysML. Specifica MARTE. Esempi in ambiente integrato (Papyrus).</p>	
<b>Codice:</b> 31682	<b>Semestre:</b> II
<b>Propedeuticità:</b>	
<b>Metodo didattico:</b> Lezioni e esercitazioni in aula, attività di laboratorio	
<b>Materiale didattico:</b> trasparenze dalle lezioni del corso, libro di testo: G. Buttazzo “Sistemi in tempo reale”, materiale esercitativo, risorse su rete.	

<b>Modalità di esame:</b>						
<b>L'esame si articola in prova</b>	<b>Scritta e orale</b>	<b>X</b>	<b>Solo scritta</b>		<b>Solo orale</b>	
<b>In caso di prova scritta i quesiti sono</b>	<b>A risposta multipla</b>		<b>A risposta libera</b>	<b>X</b>	<b>Esercizi numerici</b>	<b>X</b>
<b>Altro</b> (es: sviluppo progetti, prova al calcolatore ...)	Sviluppo di progetti assegnati durante il corso					

<b>Insegnamento:</b> Prototipazione virtuale	
<b>Modulo:</b>	
<b>CFU:</b> 9	<b>SSD:</b> ING-IND/15
<b>Ore di lezione:</b> 36	<b>Ore di esercitazione:</b> 36
<b>Anno di corso:</b> I	
<p><b>Obiettivi formativi:</b>  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 costruttivi e schemi di assemblaggio a partire dai modelli CAD tridimensionali. Assegnare e valutare caratteristiche e proprietà di sistemi meccanici in ambiente virtuale: forme, proporzioni, materiali, tolleranze. Riconoscere gli elementi normalizzati. Gestire protocolli di riferimento per lo scambio-dati. Simulare ed analizzare il comportamento cinematico di sistemi 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.</p>	
<p><b>Contenuti:</b>  Il Digital Mock-Up (DMU), la prototipazione virtuale e la simulazione nel processo di progettazione industriale. Metodi di rappresentazione; Proiezioni ortogonali, Scelta delle viste. Sezioni. La quotatura: Quotatura funzionale, tecnologica e di collaudo. Il disegno e le lavorazioni meccaniche. I collegamenti filettati ed i collegamenti albero-mozzo. Gli errori e le tolleranze, Le tolleranze dimensionali e il controllo tra due limiti, Tipi di accoppiamento, Sistema ISO di tolleranze e accoppiamenti, Tolleranze generali, Sistemi albero base e foro base.  Modellazione basata sulla geometria: Drafting 2D, Modellazione 3D Wireframe, B-Rep, CSG, ibrida. Modellazione basata sulla conoscenza: approccio parametrico e variazionale, sistemi feature-based. Disegno Tecnico con CATIA V5: concetti di Features, Body, Gruppi geometrici ordinati e non ordinati. Strumenti per la gestione delle Features Basate su schizzi. Strumenti di analisi dello schizzo. Strumenti per la creazione e la gestione delle feature avanzate: Features di dettagliatura, Features di trasformazione, Features booleane, Modellazione multi-body. 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: bottom-up e top-down. Strumenti per la creazione e la gestione delle viste 2D: proprietà di associatività tra diversi ambienti di modellazione. Strumenti per la quotatura automatica e non. Strumenti per la gestione dei formati e dei cartigli. La distinta base. Scambio-dati tra differenti sistemi di progettazione assistita dal calcolatore. Metodi e strumenti per la simulazione e l'analisi cinematica di sistemi meccanici. Sistemi di trasmissione del moto. Il disegno delle ruote dentate. Sistemi per la gestione dei dati di prodotto (PDM) e per la gestione del ciclo di vita del prodotto (PLM). Elaborazione dei modelli geometrici per la prototipazione virtuale: tassellazione, Rendering e Texture mapping. Introduzione al Reverse Engineering per l'acquisizione di forma: sistemi a contatto e sistemi ottici non a contatto attivi e passivi. Tecniche di gestione delle nuvole di punti. Tecniche di ricostruzione di curve e superfici a partire da nuvole di punti. 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; dispositivi di input: sistemi di tracking, sistemi di navigazione, sistemi di manipolazione, sistemi haptic; dispositivi di output: sistemi di visualizzazione, applicazioni in ambito ferroviario, automobilistico, aeronautico ed energetico. Augmented e Mixed Reality.</p>	
<b>Codice:</b> 30214	<b>Semestre:</b> II
<b>Propedeuticità:</b>	
<b>Metodo didattico:</b> Lezioni ed esercitazioni in aula, attività di laboratorio	
<p><b>Materiale didattico:</b>  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 &amp; Sons, 1997  Tavole di esercitazione (sito docente); Slides e dispense integrative fornite dal docente (sito docente).</p>	
<b>Modalità di esame:</b>	

<b>L'esame si articola in prova</b>	<b>Scritta e orale</b>	<b>X</b>	<b>Solo scritta</b>		<b>Solo orale</b>	
<b>In caso di prova scritta i quesiti sono</b>	<b>A risposta multipla</b>		<b>A risposta libera</b>	<b>X</b>	<b>Esercizi numerici</b>	
<b>Altro</b> (es: sviluppo progetti, prova al calcolatore ...)	La prova orale include la presentazione di un progetto e delle esercitazioni svolte durante il corso.					

<b>Insegnamento:</b> Robotics lab									
<b>Modulo:</b>									
<b>CFU:</b> 6			<b>SSD:</b> ING-INF/04						
<b>Ore di lezione:</b> 36			<b>Ore di esercitazione:</b> 12						
<b>Anno di corso:</b> II									
<b>Obiettivi formativi:</b> Il corso di Laboratorio di robotica intende fornire gli strumenti fondamentali per la programmazione di sistemi robotici avanzati sia industriali sia mobili. Il framework di programmazione robotica Robot Operating System (ROS) verrà discusso durante il corso studiando algoritmi di percezione, navigazione e controllo. Il linguaggio di programmazione C++ verrà utilizzato per le esercitazioni.									
<b>Contenuti:</b> 1. Architettura del framework ROS: ROS filesystem, nodi, master and message passing. 2. Strumenti e utility di ROS. 3. Modellazione e simulazione di robot. 4. Programmazione e simulazione di sensori percettivi per la robotica. 5. Simulatori per applicazioni robotiche. 6. Strumenti avanzati per la programmazione robotica tramite ROS. 7. Navigazione e pianificazione del moto di robot mobili, aerei e terrestri. 8. Strumenti per la manipolazione robotica. 9. Localizzazione e mapping di robot mobili. 10. Elaborazione di immagini per l'esecuzione autonoma di compiti robotici. 11. Controllo di motori tramite ROS. 12. Analisi di pacchetti software comunemente utilizzati nella programmazione di applicazioni robotiche.									
<b>Contents:</b> 1. ROS architecture: ROS filesystem, nodes, master and message passing; 2. ROS console commands; 3. Robot modelling and Simulation; 4. Robotic sensors, programming and simulation; 5. Robotic simulators (Gazebo and V-REP); 6. Advanced robot programming tools; 7. Navigation and motion planning for mobile robots; 8. Robot manipulation 9. Autonomous localization and mapping; 10. Image elaboration for robotic programming; 11. Motor control with ROS; 12. Common robotic programming software (ROS packages).									
<b>Codice:</b>			<b>Semestre:</b> I						
<b>Propedeuticità:</b> Fondamenti di robotica									
<b>Metodo didattico:</b> Lezioni ed esercitazioni in aula ed in laboratorio									
<b>Materiale didattico:</b> [1] J. Lentin, J. Cacace, <i>Mastering ROS for Robotics Programming</i> , 2 <sup>nd</sup> edition, Packt Publishing, 2018, ISBN 9781788478953 [2] A. Koubaa, Eds., <i>Robot Operating System (ROS) – The Complete Reference</i> , vol. 2, Springer, 2017, ISBN 9783319549279									
<b>MODALITÀ DI ESAME</b>									
<b>L'esame si articola in prova</b>		<b>Scritta e orale</b>		<b>Solo scritta</b>		<b>Solo orale</b>		<b>X</b>	
<b>In caso di prova scritta i quesiti sono (*)</b>		<b>A risposta multipla</b>		<b>A risposta libera</b>		<b>Esercizi numerici</b>			
<b>Altro</b> (es: sviluppo progetti, prova al calcolatore ...)		Sviluppo elaborato individuale							
(*) È possibile rispondere a più opzioni									

<b>Insegnamento:</b> Statistical learning and data mining	
<b>CFU:</b> 6	<b>SSD:</b> SECS-S/01
<b>Ore di lezione:</b> 30	<b>Ore di esercitazione:</b> 18
<b>Anno di corso:</b> I	
<b>Obiettivi formativi:</b> Acquisire la logica dello statistico e le competenze metodologiche proprie del paradigma dello <i>Statistical Learning: Data Mining, Inference and Prediction</i> , nei domini applicativi dell'ingegneria e delle scienze di base.	
<p><b>Contenuti:</b></p> <p>La logica dell'apprendimento statistico moderno e i principi della <i>Statistical Learning Theory</i>:  Analisi esplorativa dei dati <i>versus</i> Analisi Confermativa dei dati  <i>Data Mining</i> (approccio deduttivo) <i>versus Inference</i> (approccio induttivo) <i>versus Prediction</i> (approccio predittivo)  Il teorema fondamentale della <i>Statistical Learning Theory</i> di Vapnick (Transduction approach)  Problemi di classificazione <i>versus</i> problemi di regressione  Apprendimento supervisionato <i>versus</i> apprendimento non supervisionato  Selezione del modello (<i>learning machine</i>) <i>versus</i> accuratezza del modello  Metodi statistici parametrici <i>versus</i> metodi statistici non parametrici  Errore di apprendimento <i>versus</i> errore test  <i>Interpretability-prediction accuracy Trade-off</i>  <i>Bias-Variance Trade-off</i></p> <p>Metodi <i>Model-Free</i> per problemi di classificazione o regressione e pattern recognition  k-Nearest Neighbors</p> <p>Metodi statistici parametrici per problemi di regressione e classificazione:  modello di regressione lineare multiplo, uso di variabili dicotomiche, inferenza classica sui parametri del modello, test diagnostici e analisi dei residui  modello di regressione logistica  analisi discriminante lineare e quadratica</p> <p>Metodi di ricampionamento Bootstrap e Cross-validation per l'inferenza computazionale  Selezione del modello lineare e regularization:  Stepwise Regression, Ridge Regression, Lasso Regression, Elastic-Net Regression, Principal Component Regression</p> <p>Metodi statistici semi-parametrici e non parametrici per problemi di regressione  Regression Splines, Smoothing Spline, Local Regression,  Generalized Additive Regression Model</p> <p>Metodi di Regressione e Classificazione ad Albero  Metodologia CART, Criterio di split TWO-STAGE, Algoritmo accelerato per la partizione recursiva FAST  Regole decisionali accurate basate sugli Ensembles (Bagging, Random Forest, Boosting)</p> <p>Apprendimento Non Supervisionato  Regole associative e Market Basket Analysis  Analisi delle Componenti Principali  Metodi gerarchici di classificazione automatica (metriche, ultrametriche, dendrogramma, criteri di raggruppamento)  Combinatorial Optimization Clustering Algorithms  k-means Clustering, k-Medoids Clustering, fuzzy clustering  Validazione Interna ed esterna</p> <p>Esercitazioni con cran-R / Python / MATLAB</p>	
<b>Codice:</b> U2338	<b>Semestre:</b> II
<b>Prerequisiti / Propedeuticità:</b> nessuna	
<b>Metodo didattico:</b> Lezione frontale con uso della lavagna e di presentazioni. Esercitazioni con l'uso del notebook.	

**Materiale didattico: Libri, dispense, slide**

Introduction to Statistical Learning, with applications in R. Gareth James, Daniela Witten, Trevor Hastie, Robert Tibshirani (2009). (Available for free in pdf, url: <http://www-bcf.usc.edu/~gareth/ISL/> )

The elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction. Hastie, T., Tibshirani, R., Friedman, J., Springer (2009). (Available for free in pdf, url: <http://www-stat.stanford.edu/tibs/ElemStatLearn/download.html> )

**Modalità d'esame: Valutazione di un progetto**

<b>L'esame si articola in prova:</b>	<b>Scritta e orale</b>	<b>X</b>	<b>Solo scritta</b>		<b>Solo orale</b>	
<b>In caso di prova scritta i quesiti sono:</b> (è possibile inserire più opzioni)	<b>A risposta multipla</b>		<b>A risposta libera</b>		<b>Esercizi numerici</b>	
<b>Altro</b> (es: sviluppo progetti, prova al calcolatore ...)	<b>Sviluppo di un progetto</b>					