

Quadro degli obiettivi formativi specifici e delle propedeuticità

Corso di Laurea magistrale in Ingegneria Elettronica

DM 270/2004, art. 12, comma 2, lettera b,

N.	Insegnamento/ Course	Settore SSD	Obiettivi formativi specifici / Specific Educational Objectives	Propedeuticità obbligatorie / Mandatory prerequisites
1.	Advanced digital control systems for electrical energy conversion	ING-INF/01	<p>Conoscenze da acquisire nel corso:</p> <ul style="list-style-type: none"> – sistemi elettronici avanzati per la conversione dell'energia elettrica per i settori della mecatronica, la robotica, la produzione e la distribuzione dell'energia e la mobilità elettrica; – strumenti per la simulazione di convertitori elettronici di potenza e azionamenti elettrici; architettura dei modelli di simulazione che comprendano anche i vincoli imposti dalla reale implementazione; metodologie di simulazione; – architettura e soluzioni hardware e firmware per l'implementazione di sistemi di controllo digitale per convertitori elettronici di potenza e azionamenti elettrici (basate su microcontrollori dedicati, FPGA, SoC); – soluzioni e tecnologie per la realizzazione di schede elettroniche di segnale e di potenza, strumenti avanzati per la loro progettazione; – topologie, architetture e controllo di sistemi di conversione avanzati: convertitori multilivello, a matrice e modulari; – requisiti, caratteristiche, architetture, controllo e vincoli progettuali dei sistemi di conversione per alcune applicazioni moderne: a) produzione dell'energia da fonti rinnovabili (sistemi fotovoltaici, eolici, co-generazione) e relativa distribuzione; b) mobilità elettrica/ibrida; c) propulsione elettrica per il settore navale e avionico. <p>Capacità e competenze acquisite relative alla disciplina:</p> <ul style="list-style-type: none"> – comprendere e approfondire i requisiti di un'applicazione di conversione dell'energia elettrica (in particolare, ma non limitatamente ai settori della mecatronica, della robotica, della produzione e distribuzione dell'energia, della mobilità elettrica e della propulsione navale e avionica); – saper valutare le diverse soluzioni tecniche di motore, azionamento, convertitore, sistema di controllo e algoritmo di controllo e scegliere la soluzione ottimale, anche in relazione ai vincoli del sistema (hardware, sensori, intervalli di funzionamento, dinamica, precisione, etc.), al tipo di applicazione, al costo, ai requisiti di sicurezza, etc.; – saper progettare l'elettronica di controllo e implementare gli algoritmi di controllo per convertitori elettronici di potenza e azionamenti elettrici; – saper valutare il comportamento e le prestazioni di sistema di conversione dell'energia in una determinata applicazione; – leggere ed interpretare i dati tecnici ed i cataloghi per la scelta di macchine elettriche, dispositivi di 	

			<p>potenza, sensori, dispositivi di calcolo finalizzati all'implementazione di moderni sistemi di conversione dell'energia elettrica;</p> <ul style="list-style-type: none"> - utilizzare programmi per la simulazione del comportamento dinamico di macchine, convertitori e azionamenti elettrici; - utilizzare programmi per la progettazione avanzata dei sistemi elettronici per la conversione dell'energia elettrica. <p>Capacità trasversali:</p> <ul style="list-style-type: none"> - comprendere i requisiti e l'interazione tra sistemi ingegneristici diversi (elettronica, elettrotecnica, controllo, elettromeccanica) integrando le conoscenze specifiche fornite nel corso con quelle di altre discipline; - sviluppare autonomia di giudizio e confronto su prestazioni e caratteristiche di sistemi di azionamento complessi; - acquisire un linguaggio tecnico specifico per illustrare il funzionamento dei sistemi dei convertitori, delle macchine e degli azionamenti elettrici; - utilizzare programmi per la progettazione e la simulazione del comportamento dinamico di macchine, convertitori e azionamenti elettrici; - valutare l'applicabilità, nel settore della conversione dell'energia elettrica, di tecnologie elettroniche mutate da altre applicazioni e campi di utilizzo. 	
1.	Advanced digital control systems for electrical energy conversion	ING-INF/01	<p>Knowledge and learning:</p> <ul style="list-style-type: none"> - advanced electronic systems for electric energy conversion for mechatronics, robotics, production and distribution of energy, and electric mobility; - simulation tools for electronic power converters and electric drives; simulation model architecture, including actual implementation limitations; actual simulation methodologies and techniques; - hardware and software advanced platforms for the implementation of digital controllers for electronic power converters and drives (e.g. based on dedicated microcontrollers, FPGAs and SoCs); - solutions and technologies for the realization of signal and power electronic boards, advanced tools for their design; - topologies, architectures and control of advanced electronic power converters: multilevel, matrix and modular converters; - requirements, characteristics, architectures, control and design constraints for selected modern applications conversion systems: <ul style="list-style-type: none"> a) energy production from renewable systems and related distribution (e.g. fotovoltaic, wind and co-generation); b) electric/hybrid mobility; c) electric propulsion for naval and avionics. <p>Abilities and competencies:</p> <ul style="list-style-type: none"> - understand and analyze the requirements of an electric energy conversion application (particularly but not limited to mechatronics, robotics, production and distribution of energy, and electric mobility applications); 	

			<ul style="list-style-type: none"> - evaluate possible technical solutions for machine, drive, converter, electronic control platform and algorithm, selecting the optimal combination, also as a function of system constraints (e.g. hardware, sensors, operating ranges, dynamics, accuracy, etc.); - design of the control electronic system and implement the control algorithms for electronic power converters and drives; - select and foresee the behavior and performance of an energy conversion system within a certain application; - read and understand technical data and catalogues for the selection of electric machines, electronic power devices, and devices adopted for the implementation of modern electric energy conversion systems; - use proper tools for the simulation of the dynamical behavior of electric machines, converters and drives; - use of proper and advanced tools for electronic systems design for electric energy conversion; - understand implementation requirements and constraints for innovative electronic power converters and drives digital control; - use of firmware development and debugging tools for microcontrollers; - verify the behavior of electronic system in simulation and experimentally; - acquire the ability of working team interaction and coordination; - acquire the abilities to report the chosen technical solutions and discuss with colleagues and specialized technical staff. <p>Cross-abilities:</p> <ul style="list-style-type: none"> - understand the requirements and interactions among different engineering systems (electronics, control and electromechanical), by integrating specific knowledge acquired during the lectures with other branch of knowledge; - develop autonomy of understanding and comparison about performance and characteristics of complex drive systems; - acquire a specific technical language to describe the behavior and performance of electric machines, converters and drives; - use proper tools for the design and simulation of the dynamical behavior of electric machines, converters and drives; - evaluate the possibility of application, in the field of electric energy conversion, of electronic technologies adopted in other applications and fields. 	
2.	Antenne	ING-INF/02	<p>Il corso si propone di fornire concetti utili alla comprensione del funzionamento e al progetto di antenne. L'approccio teorico verrà integrato con l'utilizzo di software dedicati allo studio delle antenne ad alta frequenza.</p> <p>Competenze acquisite:</p> <ul style="list-style-type: none"> - comprensione della terminologia in uso nello studio delle antenne; - capacità di calcolare il campo irradiato da una singola antenna, o da una schiera di antenne; - capacità di dimensionare un collegamento radio. - apprendimento delle tecniche di progetto e ottimizzazione di antenne filiformi; 	

			<ul style="list-style-type: none"> - capacità di dimensionamento di antenne filiformi, yagi e log-periodiche; - capacità di utilizzo di software dedicati alla progettazione di antenne. 	
2.	Antennas	ING-INF/02	<p>The course aims at providing concept for the design and comprehension of working principle of antennas. Theoretical work will be completed by use of numerical codes for high-frequency antennas.</p> <p>Acquired skills:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Comprehension of terms and parameters in use for the study of antennas. - Ability to compute the electromagnetic field radiated by a single antennas, or by an array of antennas; - Ability to design a radio link; - Design and optimization of thin linear antennas, Yagi antennas, and log-periodic antennas. - Use of software for the design of antennas. 	
3.	Architetture e algoritmi paralleli	ING-INF/01	<p>L'insegnamento di Architetture e Algoritmi Paralleli si prefigge di fornire agli studenti le competenze necessarie per comprendere il ruolo e la struttura di un moderno sistema di calcolo ad alte prestazioni. Durante il corso vengono impartite nozioni relative alla prospettiva storica delle architetture di calcolo parallele e sulla convergenza tecnologica che, di recente, sta conducendo alla definizione operativa di una architettura standard anche nel dominio del calcolo parallelo. Il corso illustra anche le criticità e le metodologie generali per la specifica di algoritmi paralleli efficienti ed è corredato da una ampia sessione di laboratorio nel corso della quale gli studenti apprendono le tecniche di codifica di applicazioni per architetture data parallel che possono essere implementate su di un server GPU a disposizione degli studenti.</p> <p>Infine, vengono affrontati lo studio e l'implementazione dei principali algoritmi di analisi numerica per applicazioni in ambito di modellistica fisica e per problemi di analisi dei dati anche in ambito di Ricerca Operativa.</p> <p>Competenze Acquisite:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Conoscenza dei principali paradigmi di calcolo distribuiti. - Conoscenza dei criteri di progetto di una applicazione parallela. - Programmazione multi-thread CUDA e OpenCL. - Algoritmi di analisi numerica e loro implementazione. 	

3.	Parallel Architectures and Algorithms	ING-INF/01	<p>The goal of the Course is to provide the required competences to understand role and structure of a modern high-performance computing system. During the classes, the historical evolution of the field is described, together with the technology convergence that has recently led to the definition of a modern, standardized architecture for parallel computing.</p> <p>The Course also illustrates the general methodologies for the realization of efficient parallel algorithms and is accompanied with a large set of lab activities on the coding of parallel applications of GPU architectures.</p> <p>Finally, the main algorithms for the numerical analysis of physical modeling, data analysis, and Operation Research problems will be studied and implemented.</p> <p>Acquired Skills:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Knowledge about main distributed computing paradigms. - Knowledge about the design issues concerning parallel applications. - Programming applications in CUDA and OpenCL. - Numerical algorithms and their implementation. 	
4.	Azionamenti elettrici per applicazioni moderne	ING-IND/32	<p>Conoscenze da acquisire nel corso:</p> <ul style="list-style-type: none"> - conversione elettromeccanica di energia attraverso macchine elettriche rotanti ad alte prestazioni, in particolare finalizzate alle applicazioni più moderne (meccatronica, robotica, energia, mobilità elettrica e propulsione navale e avionica); - modelli analitici dinamici di macchine in corrente alternata (sincrone a magneti permanenti, a riluttanza e asincrone); - algoritmi di controllo ad alte prestazioni; - regioni di funzionamento, stima/misurazione dei parametri, prestazioni ottenibili; - controllo sensorless; - analisi della struttura elettromagnetica della macchina e relazioni con le caratteristiche funzionali, il modello analitico e il relativo controllo; - campi di applicazione: applicazioni innovative (energie rinnovabili, trazione elettrica/ibrida, propulsione navale e avionica). <p>Capacità e competenze acquisite relative alla disciplina:</p> <ul style="list-style-type: none"> - comprendere e approfondire i requisiti di un'applicazione di movimentazione di un carico meccanico; - scegliere e prevedere il funzionamento e le prestazioni di un azionamento in una determinata applicazione; - analizzare l'interazione dell'azionamento con il sistema meccanico; - saper valutare le diverse soluzioni tecniche di motore, azionamento, convertitore e algoritmo di controllo e scegliere la soluzione ottimale, anche in relazione ai vincoli del sistema (hardware, sensori, intervalli di funzionamento, dinamica, precisione, etc.); - comprendere la terminologia e i parametri che descrivono gli azionamenti elettrici; - leggere ed interpretare i dati tecnici ed i cataloghi per la scelta delle macchine e degli azionamenti elettrici; 	

			<ul style="list-style-type: none"> - utilizzare programmi per la simulazione del comportamento dinamico di macchine, convertitori e azionamenti elettrici; - analizzare i requisiti di implementazione di un algoritmo di controllo per azionamenti elettrici innovativi. <p>Capacità trasversali:</p> <ul style="list-style-type: none"> - comprendere i requisiti e l'interazione tra sistemi ingegneristici diversi (elettronica, elettrotecnica, controllo, elettromeccanica) integrando le conoscenze specifiche fornite nel corso con quelle di altre discipline; - sviluppare autonomia di giudizio e confronto su prestazioni e caratteristiche di sistemi di azionamento complessi; - acquisire un linguaggio tecnico specifico per illustrare il funzionamento dei sistemi dei convertitori, delle macchine e degli azionamenti elettrici; - utilizzare programmi per la simulazione del comportamento dinamico di macchine, convertitori e azionamenti elettrici. 	
4.	Electric Drives for Modern/Demanding Applications	ING-IND/32	<p>Knowledge and learning:</p> <ul style="list-style-type: none"> - electro-mechanical energy conversion through high-performance (rotating) electric machines for recent and demanding application (e.g. mechatronics, robotics, energy, electric mobility and naval and avionics propulsion); - analytical dynamical models of electric rotating machines (three-phase permanent magnet synchronous (brush-less) and induction); - high-performance control algorithms; - operating regions and ranges; - estimation/measurement of machine parameters, achievable performance; - sensor-less control; - analysis of the electromagnetic structure of the machine and relationship with functional characteristics, analytical model and related control issues; - field bus communication systems: applications and specifications; - application fields: innovative applications (renewable energy generation systems, electric/hybrid traction). <p>Abilities and competencies:</p> <ul style="list-style-type: none"> - understand and analyze the requirements for driving a mechanical load through an electric machine; - select and foresee the behavior and performance of an electric drive within a certain application; - analyze the interaction between the drive and the mechanical load; - evaluate possible technical solutions for machine, drive, converter and control algorithm, selecting the optimal combination, also as a function of system constraints (e.g. hardware, sensors, operating ranges, dynamics, accuracy, etc.); - understand the specific terminology and parameters adopted to describe electric drives; - read and understand technical data and catalogue for the selection of machine and drive; 	

			<ul style="list-style-type: none"> - use proper tools for the simulation of the dynamical behavior of electric machines, converters and drives; - understand implementation requirements and constraints for innovative digital drives; - design of control loops; analyze the requirements and specifications of field bus communication systems in power converters and drives. <p>Cross-abilities:</p> <ul style="list-style-type: none"> - understand the requirements and interactions among different engineering systems (electronics, control and electromechanical), by integrating specific knowledge acquired during the lectures with other branch of knowledge; - develop autonomy of understanding and comparison about performance and characteristics of complex drive systems; - acquire a specific technical language to describe the behavior and performance of electric machines, converters and drives; - use proper tools for the simulation of the dynamical behavior of electric machines, converters and drives. 	
5.	Calcolatori elettronici	ING-INF/05	<p>Capacità relative alle discipline:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Capacità di comprensione delle architetture avanzate di microprocessori. - Conoscenza delle architetture dei sistemi di elaborazione. - Conoscenza della teoria delle reti neurali. - Capacità di comprensione delle architetture di reti neurali. <p>Capacità trasversali:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Capacità di svolgere e coordinare lavori di gruppo. - Capacità di reperimento delle informazioni necessarie alla risoluzione di un problema progettuale. - Capacità di presentazione e divulgazione del lavoro svolto e dei risultati ottenuti. 	
5.	Computer Design	ING-INF/05	<p>Knowledge of digital design methodologies.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Understanding of advanced microprocessors architecture. - Knowledge of computer architectures. - Knowledge of the theory of neural networks. - Understanding of neural networks architectures. - Understanding of teamwork integration and coordination. - Ability in gathering information related to a specific development task. - Ability in presentation and dissemination of a developed project. 	
6.	Circuiti e sistemi a radiofrequenza	ING-INF/01	<p>Il corso fornirà allo studente le seguenti conoscenze ed abilità:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Saper comprendere la struttura dei principali blocchi circuitali usati nei sistemi per telecomunicazioni: amplificatori a basso rumore, amplificatori di potenza, oscillatori ad alta frequenza, mixer, maglie ad aggancio di fase. - Conoscere le metodologie per l'analisi ed il dimensionamento di tali blocchi. - Conoscere i principali strumenti CAD disponibili per l'analisi ed il progetto di circuiti ad alta frequenza. - Conoscere le principali metodologie e gli strumenti di misura per la determinazione sperimentale delle prestazioni dei circuiti ad alte frequenze. 	

6.	Radio-frequency Circuits and Systems	ING-INF/01	<ul style="list-style-type: none"> - Aim of the course is providing to the students the following competences: - explain the working principle of the circuit blocks used in most VLSI transmitter and receiver systems: low noise amplifiers, power amplifiers, oscillators, mixers and phase locked loops; - explain and discuss the main methodologies employed for the design of such circuit blocks; - acquaintance with popular TCAD environments for the design of RF circuits and use them for a virtual design carried out in the lab of some of the circuits described in the classes. <p>Specific skills are:</p> <ul style="list-style-type: none"> - understanding the behavior and design strategies for RF building blocks; - methodologies used for the study of non-linear circuits under periodic/large signal conditions; - design capabilities based on TCAD tools for the RF circuits. 	
7.	Compatibilità, normativa e sicurezza degli apparati elettronici	ING-INF/02	<p>Il corso intende fornire agli allievi gli strumenti teorici per affrontare le problematiche di compatibilità elettromagnetica (EMC) negli apparati elettronici, sia di natura esterna (emissioni e suscettività), sia di natura interna (diafonia). Si illustrano inoltre i metodi e gli strumenti per misure di compatibilità elettromagnetica (EMC) e la normativa vigente in materia di compatibilità elettromagnetica e di sicurezza elettrica. A conclusione del ciclo di lezioni teoriche, seguiranno le esercitazioni di laboratorio.</p> <p>Abilità da acquisire</p> <ul style="list-style-type: none"> - Conoscere la normativa vigente riguardo i problemi di EMC e sicurezza elettrica. - Comprendere i meccanismi di emissione, accoppiamento e ricezione di disturbi elettromagnetici. - Utilizzare semplici modelli analitici per l'analisi di problemi EMC nel dominio del tempo e della frequenza. - Conoscere le linee guida per il progetto secondo criteri EMC. <p>Al termine del corso, lo studente avrà conseguito:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Acquisizione di conoscenze basilari e caratterizzanti il dominio culturale specifico attraverso lezioni teoriche ed autoapprendimento. - Applicazione delle conoscenze teoriche acquisite attraverso esercitazioni analitiche ed esperienze di laboratorio - Capacità di trattamento dei dati in ingresso e analisi critica dei risultati nella risoluzione di problemi numerici e nelle esperienze di laboratorio. - Capacità di comunicare le proprie conoscenze in occasione delle prove d'esame. - Partecipazione alle lezioni e preparazione alle prove di verifica ed esame. 	
7.	Electromagnetic Compatibility Regulation and Safety of Electronic Systems	ING-INF/02	<p>The course covers the main theoretical and practical aspects of Electromagnetic Compatibility, dealing also with EMC standard requirements.</p> <p>Acquired skills</p> <ul style="list-style-type: none"> - Standard requirements for EMC and electrical safety. - Simple Theoretical models for time domain and frequency domain EMC analyses. 	

			<ul style="list-style-type: none"> - Basic principles of the design of electronic systems which satisfy EMC standard requirements and perform reliably in the presence of interference sources. <p>At the end of the course, the student will accomplish:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Acquirement of basic and characterizing knowledge the specific cultural domain through lectures and self-study. - Application of theoretical knowledge gained through analytical exercises and laboratory experiments - Processing of incoming data and critical analysis of the results in solving numerical problems and in laboratory experiments. - Ability to communicate their knowledge at the time of the examinations. - Class participation and preparation for verification tests and examination. 	
8.	Computer Graphics	ING-INF/05	<p>Il corso mira a fornire allo studente gli strumenti indispensabili a comprendere i concetti, gli algoritmi ed i metodi computazionali su cui si basano le applicazioni grafiche interattive.</p> <p>L'enfasi è sulla comprensione della teoria (geometria, radiometria) e degli aspetti computazionali (algoritmi e strutture dati) che stanno alla base della creazione di immagini al calcolatore.</p> <p>Al termine del corso, lo studente sarà in grado di:</p> <ul style="list-style-type: none"> - comprendere il funzionamento delle applicazioni basate su grafica 3D interattiva, come ad esempio videogiochi, visualizzazione di dati, e simulazioni; - progettare applicazioni di questo tipo, relativamente alla parte grafica. 	
8.	Computer Graphics	ING-INF/05	<p>The course aims to provide the student with the indispensable tools to understand the concepts, algorithms and computational methods on which interactive graphical applications are based.</p> <p>The emphasis is on the understanding of theory (geometry, radiometry) and computational aspects (algorithms and data structures) that underlie the creation of computer images.</p> <p>At the end of the course, the student will be able to:</p> <ul style="list-style-type: none"> - understand how applications based on interactive 3D graphics work, such as video games, data visualisation, and simulations; - design applications of this type, with regard to the graphics part. 	
9.	Comunicazioni wireless	ING-INF/03	<p>Il corso si propone di illustrare gli aspetti fondamentali relativi ai sistemi di telecomunicazione radio mobili. Fornisce gli strumenti analitici per lo studio e progettazione dell'architettura di sistema e delle tecniche di trasmissione. Copre aspetti di sistema quali la filosofia cellulare, i protocolli di accesso al mezzo radio, aspetti relativi alla modellazione del canale radio mobile, ed aspetti relativi agli algoritmi di trasmissione in canali radio e alla analisi delle loro prestazioni. Vengono presentate le varie tecniche di ricezione, di equalizzazione e di diversità e vengono forniti gli strumenti per la progettazione dei ricevitori. Si propone inoltre di illustrare i principali standard wireless, ad es. GSM, UMTS, WLAN, Bluetooth</p>	

			<p>etc., mettendone in evidenza le scelte progettuali in funzione del servizio erogato.</p> <p>Dallo/dalla studente/studentessa verranno acquisiti i principi relativi alle tecniche di trasmissione alla base dei sistemi wireless, nonché gli strumenti teorici per la modellazione e la valutazione delle prestazioni nei sistemi wireless.</p>	
9.	Wireless Communications	ING-INF/03	<p>The course aims to illustrate the fundamental aspects of mobile radio communication systems. It provides the analytical tools for the study of the system architecture and the design of the transmission techniques. It covers system aspects such as cell philosophy, access protocols to the radio medium, and aspects related to the modeling of the mobile radio channel. Furthermore, it covers aspects of transmission algorithms for radio channels, and the analysis of their performance. Various types of reception, equalization and diversity techniques are presented, and the tools for the design are provided. The course also proposes to illustrate the most important wireless standards, eg. GSM, UMTS, WLAN, Bluetooth, etc., highlighting the design choices depending on the service provided.</p> <p>The student will acquire the transmission technique principles that stand at the base of wireless systems, as well as the theoretical tools for modeling and valuating the wireless systems performance.</p>	
10.	Data Analytics and Learning Machines	ING-INF/05	<p>Il corso fornisce degli strumenti concettuali e pratici nell'ambito della Data Analytics, ovvero lo sfruttamento dei dati per il supporto delle decisioni in una varietà di domini e di problemi applicativi. L'argomento verrà trattato da tre prospettive diverse:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Descriptive Analytics, ossia l'estrazione di informazione dai dati attraverso l'aggregazione e gli strumenti di visualizzazione; 2) Predictive Analytics, ossia la previsione di eventi futuri sulla base di dati storici; 3) Prescriptive Analytics, ovvero il suggerimento di azioni per il supporto alle decisioni basati sull'evidenza dei dati e su modelli di ottimizzazione. <p>La parte metodologica sarà accompagnata dall'introduzione del linguaggio di programmazione Python e di un certo numero di librerie per l'analisi dei dati.</p>	
10.	Data Analytics and Learning Machines	ING-INF/05	<p>The module will provide conceptual and practical tools in the field of Data Analytics. In particular the different methodologies for Descriptive, Predictive, and Prescriptive Analytics will be presented.</p> <p>The methodological part will be complemented by the introduction to the Python Programming language and the presentation of a number of libraries for data analysis.</p>	
11.	Design of Electric Machines for Modern Drives	ING-IND/32	<p>Si tratta di un corso di progettazione di macchine elettriche (principalmente sincrone a magneti permanenti e a riluttanza) per applicazioni moderne ed emergenti (es. applicazioni industriali ad alte prestazioni e applicazioni nei settori automotive, aeronautico, di propulsione navale, di immagazzinamento e conversione di energia, etc.), ma anche orientato al controllo della macchina.</p> <p>Quindi dimensionamento della macchina, progettazione (con software agli elementi finiti liberi o commerciali (es. FEMM o Ansys, che abbiamo recentemente acquistato) e valutazione/ottimizzazione delle prestazioni della</p>	

macchina in funzione dei requisiti di controllo (caratteristica coppia/velocità, intervallo di deflussaggio, perdite/rendimento, ripple di coppia, coppia di cogging, caratteristiche del convertitore di alimentazione, anisotropia orientata al controllo sensorless, etc.).

Conoscenze da acquisire nel corso:

- leggi fondamentali e metodi di analisi nella progettazione delle macchine elettriche multifase per azionamenti moderni ed emergenti;
- materiali magnetici utilizzati nelle macchine elettriche per azionamenti ad alte prestazioni e criteri di scelta e di progettazione: caratteristiche, perdite, punti di funzionamento;
- progettazione di circuiti magnetici: traferro, lunghezza equivalente del percorso magnetico, tensione magnetica, curva a vuoto, traferro equivalente, corrente di magnetizzazione;
- avvolgimenti per macchine elettriche multifase per azionamenti ad alte prestazioni: tipologie, progettazione, isolamento, perdite;
- parti di una macchina elettrica (rotante e lineare), tecniche e tecnologie costruttive e di assemblaggio;
- dimensionamento di una macchina elettrica multifase: carico meccanico, carico elettrico, carico magnetico, traferro, dimensionamento per omotetia;
- progettazione di macchine elettriche sincrone a magneti permanenti e a riluttanza: criteri di dimensionamento preliminare e parametri fondamentali in funzione delle prestazioni desiderate, con esempi di calcolo;
- trasmissione del calore: perdite, rimozione delle perdite, reti termiche equivalenti;
- analisi con software di soluzione elettromagnetica agli elementi finiti (FEA, finite element analysis) di macchine elettriche multifase per azionamenti ad alte prestazioni: calcolo delle prestazioni e calcolo dei parametri di funzionamento della macchina, anche in correlazione alla tipologia di controllo che verrà utilizzata nell'azionamento (es. controllo sensorless basato su iniezione ad alta frequenza);
- valutazione/ottimizzazione delle prestazioni della macchina in funzione dei requisiti di controllo (caratteristica coppia/velocità, intervallo di deflussaggio, perdite/rendimento, ripple di coppia, coppia di cogging, caratteristiche del convertitore di alimentazione, anisotropia orientata al controllo sensorless, etc.);
- tecniche di ottimizzazione del progetto della macchina con algoritmi automatici: funzione obiettivo, vincoli, variabili indipendenti, tecniche combinate con analisi agli elementi finiti.

Capacità e competenze acquisite relative alla disciplina:

- comprendere e approfondire i requisiti di una macchina elettrica multifase (in particolare sincrone a magneti permanenti e/o a riluttanza) per azionamenti elettrici utilizzati nelle moderne ed emergenti applicazioni, cioè applicazioni industriali ad alte prestazioni e applicazioni nei settori automotive, aeronautico, di propulsione navale, di immagazzinamento e conversione di energia, etc.;

			<ul style="list-style-type: none"> - saper valutare i principali parametri di progetto di una macchina elettrica multifase e il loro impatto sulle prestazioni della macchina, anche in relazione alla tipologia di controllo che verrà adottato per quella macchina; - saper effettuare un dimensionamento di massima di una macchina elettrica multifase sincrona a magneti permanenti e a riluttanza; - saper utilizzare e interpretare i risultati ottenuti attraverso software di analisi agli elementi finiti di una macchina elettrica multifase; - capacità di ottimizzare il progetto di macchine elettriche multifase in funzione dei requisiti dell'applicazione; - capacità di progettare algoritmi di ottimizzazione automatici del progetto di macchine elettriche multifase e valutarne le prestazioni; - capacità di orientare il progetto della macchina elettrica in funzione dei requisiti e degli algoritmi di controllo dell'azionamento da cui sarà alimentata. <p>Capacità trasversali:</p> <ul style="list-style-type: none"> - comprendere i requisiti e l'interazione tra sistemi ingegneristici diversi (elettronica, elettrotecnica, controllo, elettromeccanica) integrando le conoscenze specifiche fornite nel corso con quelle di altre discipline; - sviluppare autonomia di giudizio e confronto su prestazioni e caratteristiche di macchine elettriche e dei relativi requisiti di progetto, anche in funzione di quelli dell'azionamento; - acquisire un linguaggio tecnico specifico per illustrare la progettazione e l'analisi delle prestazioni e delle caratteristiche di macchine elettriche multifase; - utilizzare programmi di simulazione per l'analisi e l'ottimizzazione del progetto di macchine elettriche multifase. 	
11.	Design of Electric Machines for Modern Drives	ING-IND/32	<p>Knowledge and learning:</p> <ul style="list-style-type: none"> - fundamental laws and methods of analysis in the design of multi-phase electric machines for modern and emerging drives - magnetic materials used in electrical machines for high-performance drives, and selection and design criteria: characteristics, losses, operating points; - design of magnetic circuits: air gap, equivalent length of the magnetic path, magnetic voltage, no-load curve, equivalent air gap, magnetization current; - windings for multi-phase electric machines for high-performance drives: types, design, insulation, losses; - parts of an electric machine (rotating and linear), construction and assembly techniques and technologies; - design of a multiphase electric machine: mechanical load, electric load, magnetic load, air gap, sizing for homotetia; - design of synchronous permanent magnet and synchronous reluctance machines: preliminary sizing criteria and fundamental parameters depending on the desired performance, with calculation examples; - heat transmission: losses, removal of losses, equivalent thermal networks; 	

- analysis of multi-phase electric machine for high-performance drives with finite element tools (FEA, finite element analysis): performance calculation and calculation of machine operating parameters, also in correlation to the type of control that is going to be used in the drive system;
- evaluation/optimization of the machine performance according to the control requirements (torque / speed characteristic, field weakening interval, losses / efficiency, torque ripple, cogging torque, characteristics of the power converter, anisotropy oriented to sensorless control, etc.);
- optimization techniques of the machine design with automatic algorithms: objective function, constraints, independent variables, techniques combined with finite element analysis.

Abilities and competencies:

- understand and investigate the requirements of a multi-phase electric machine (in particular synchronous with permanent magnets and/or reluctance) for electric drives used in modern and emerging applications, i.e. high-performance industrial applications and applications in the automotive, aeronautical and marine propulsion sectors, energy storage and conversion, etc .;
- understand how to evaluate the main design parameters of a multiphase electric machine and their impact on the machine's performance, also in relation to the type of control that will be adopted for that machine
- ability to carry out a general design of a synchronous permanent magnet and reluctance multiphase electric machine;
- ability to use and interpret the results obtained through the simulation of a multi-phase electric machine through finite element analysis tools;
- ability to optimize the design of multi-phase electric machines according to the requirements of the application;
- ability to design algorithms for automatic optimization of the design of multi-phase electric machines and evaluate their performance;
- ability to orient the design of the electric machine according to the requirements and the control algorithms of the drive from which it will be fed.

Cross-abilities:

- understanding the requirements and the interaction between different engineering systems (electronics, electrical engineering, control, electromechanics) integrating the specific knowledge provided in the course with those of other disciplines;
- develop judgment and comparison autonomy on the performance and characteristics of electrical machines and the related project requirements, also in relation to those of the drive system;
- acquire a specific technical language to illustrate the design and analysis of the performance and characteristics of multi-phase electric machines;
- use simulation tools for the analysis and optimization of the project of multi-phase electric machines.

12.	Elaborazione numerica del segnale	ING-INF/03	<p>Obiettivi: Scopo del corso è introdurre lo studente alle tecniche di base di elaborazione numerica del segnale.</p> <p>Alla fine del corso lo studente:</p> <ul style="list-style-type: none"> - conoscerà i vari strumenti analitici per lo studio dei sistemi di elaborazione numerica del segnale; - conoscerà le principali tecniche usate per il progetto e l'implementazione dei filtri numerici; - conoscerà i principali algoritmi efficienti per il calcolo della Trasformata Discreta di Fourier e le loro applicazioni nell'ambito dell'elaborazione numerica del segnale (convoluzione veloce, stima di ritardi, ecc.); - saprà affrontare i problemi legati all'implementazione in virgola fissa di algoritmi per l'elaborazione del segnale. <p>Le lezioni teoriche del corso sono affiancate da esercitazioni di laboratorio in cui agli studenti viene chiesto di progettare ed implementare (tipicamente in Matlab) piccoli sistemi di elaborazione numerica del segnale.</p> <p>Competenze acquisite:</p> <p>Alla fine del corso lo studente</p> <ul style="list-style-type: none"> - strumenti teorici necessari per l'elaborazione numerica dei segnali; - capacità di analizzare, progettare ed implementare sistemi per l'elaborazione numerica dei segnali. 	
12.	Digital Signal Processing	ING-INF/03	<p>Objectives</p> <p>At the end of this course the student will know:</p> <ul style="list-style-type: none"> - the main theoretical tools for the analysis of DSP systems; - the most important techniques for designing and implementing digital filters; - the most important efficient algorithms for filtering and computing Fourier transform and their applications to real use cases; - the main issues (and their solution) in embedded implementations, including, but not limited to fixed point math. <p>Competences:</p> <ul style="list-style-type: none"> - the student will be able to analyze, design and implement DSP systems taking into account different real world constraints such as computational cost or numerical error propagation. 	
13.	Digital Design	ING-INF/01	<p>Il Corso si propone di fornire agli studenti le metodologie necessarie per il passaggio dalla descrizione funzionale di un circuito digitale, principalmente ipotizzato quale interfaccia tra le porzioni digitale e mixed-signal dei tipici sistemi integrati per applicazioni embedded, e la sua realizzazione, quindi la sua descrizione, simulazione, verifica, floor planning, place & route, simulazione post-layout e sintesi finale del layout circuitale. Le applicazioni cui si farà principale riferimento saranno la conversione digitale analogica e il filtraggio di segnali digitali, in ambito di applicazioni embedded per automotive e circuiti a radiofrequenza. A questa parte metodologica, prodromica per l'acquisizione di metodologie e strumenti operativi, si affiancherà quella del progetto dei principali elementi circuitali digitali previsti per gli ambiti applicativi poco sopra menzionati, quali interfacce ad alta velocità e macchine programmabili, progettati per il governo dell'handshake tra le porzioni digitale e mixed signal dei</p>	

			sistemi embedded più rilevanti nei citati ambiti di applicazione.	
13.	Digital Design	ING-INF/01	The Class aims at providing students with the methodologies required for producing the transition from the functional description of a digital circuit, mainly assumed as the interface between the digital and mixed-signal portions of typical integrated systems for embedded applications, and its realization, that is to say its description, simulation, verification, floor planning, place & route, post-layout simulation, and layout synthesis of the final circuit. The applications that will be mainly addressed will be the digital to analog conversion and the filtering of digital signals, in the field of automotive and radio frequency embedded applications. This methodological part, prodromic to the acquisition of practical abilities and tools, will be completed by the design of the main circuit elements envisioned for the just mentioned fields of application, such as high-speed interfaces and programmable digital machines, designed for the supervision of the handshake between the digital and mixed-signal parts of the most relevant embedded systems in the aforementioned application environments.	
14.	Electrical and Electronic Measurements	ING-INF/07	Il corso si prefigge di fornire le seguenti conoscenze <ul style="list-style-type: none"> – Multimetro numerico per misure in AC e DC – Contatori per misure di frequenza e periodo. – Metodi di misura di impedenze: sostituzione, volt-amperometrico, a ponte. Ponti impedenzimetrici in DC e AC, ponti LCR a bilanciamento automatico. – Interfacciamento di strumenti a calcolatori tramite IEEE 488. – Caratterizzazione di componenti elettronici: misura delle non idealità di OPAMP, A/D, D/A. Le capacità acquisite sono: <ul style="list-style-type: none"> – Utilizzare strumentazione elettronica di base. – Realizzare misurazioni di grandezze elettriche ed elettroniche. 	
14.	Electrical and Electronic Measurements	ING-INF/07	The course provides the following notions: <ul style="list-style-type: none"> – Digital multimeter for AC and DC measurements – Universal counters for period and frequency measurement. – Impedance measurements: substitution, volt-amperometric, bridges. DC and AC bridges for impedance measurement, auto balancing LCR bridges. – Automatic instrument control through IEEE 488. – Characterization of electronic devices: measurement of non-idealities in OPAMP, A/D, D/A. The acquired skills are: <ul style="list-style-type: none"> – Using entry-level electronic instrumentation. – Measure of the electronic quantities. 	
15.	Electronic Devices and Components	ING-INF/01	Lo scopo di questo corso è quello di illustrare i principi di funzionamento, le metodologie di progetto e le prestazioni di circuiti a bassissime tensioni ed energia di funzionamento, necessari per sistemi energeticamente autonomi e per applicazioni di tipo Internet of Things. <p>Specifiche competenze acquisite riguardano:</p> <ul style="list-style-type: none"> – comprendere il ruolo delle correnti statiche (leakage) in circuiti CMOS nanometrici e relative tecniche di progetto; 	

			<ul style="list-style-type: none"> – capire i modelli di transistori MOS in circuiti funzionanti a bassissime tensioni; – acquisire tecniche di progetto per circuiti logici e static RAM a bassissime tensioni di funzionamento; – capire i modelli mesoscopici di trasporto elettronico per transistori tri-dimensionali su scala nanometrica; – comprenderne il principio fisico, funzionamento, semplici modelli e indicazioni di progetto per transistori con ridotta pendenza inversa di sottosoglia basati sull'effetto tunnel (Tunnel FETs); – comprenderne il principio fisico, funzionamento, semplici modelli e indicazioni di progetto per transistori con ridotta pendenza inversa di sottosoglia basati sul concetto di capacità differenziale negativa ottenuta con dielettrici di tipo ferroelettrico. 	
15.	Electronic Devices and Components	ING-INF/01	<p>These lectures aim at illustrating the operating principles, the design methodologies, and the performance of circuits and devices for ultra-low voltage, ultra-low energy applications, necessary for energy autonomous systems and Internet of Things applications.</p> <p>Specific competences are:</p> <ul style="list-style-type: none"> – understanding the role of leakage in nanoscale CMOS circuits and related design techniques; – models for MOSFETs in circuits for ultra-low voltage operation; – design techniques for leakage reduction in CMOS circuits; – design techniques of ultra low voltage (ULV) digital circuits including logic circuits and static RAM memories; – Mesoscopic transport models for three-dimensional MOSFETs at nanometer scale; – Working principle, operation, simple models and design guidelines for steep slope Tunnel FETs; – Working principle, operation, simple models and design guidelines for steep slope, negative capacitance FETs based on ferroelectric. 	
16.	Electronic Instrumentation and Sensors	ING-INF/07	<p>Il corso si prefigge di fornire le seguenti conoscenze:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Misure nel dominio della frequenza e analisi armonica dei segnali mediante l'uso della trasformata di Fourier discreta. – Principio di funzionamento dei principali strumenti di misura operanti nel dominio della frequenza. – Principio di funzionamento dei sensori per la misura delle principali grandezze fisiche Le capacità acquisite sono – Scegliere le impostazioni della strumentazione per realizzare in maniera corretta l'analisi armonica dei segnali. – Comprendere i datasheet di strumenti complessi quali analizzatori di spettro e network analysers. – Conoscere il funzionamento dei sensori per la misura delle principali grandezze fisiche e scelta del sensore opportuno in base alle esigenze di progetto. – Progettare circuiti di condizionamento e interfacciare sensori a sistemi di acquisizione digitale. 	
16.	Electronic Instrumentation and Sensors	ING-INF/07	<p>Aim of the course is providing to the students the following competences:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Harmonic signal analysis by the discrete Fourier transform. 	

			<ul style="list-style-type: none"> - Architecture and main specifications of measurements instruments operating in the frequency domain. - Working principles of sensors for main physical quantities. <p>Specific skills are:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Set up of instrumentation to perform correct harmonic analysis. - Full comprehension of datasheets of spectrum analyzers and VNAs. - Knowledge of working principles of sensors for the main physical quantities. - Design of conditioning circuits and interfacing sensors to digital acquisition devices. 	
17.	Elettronica di potenza	ING-INF/01	<p>Conoscenza e comprensione delle strategie di progettazione di tutti i sistemi elettrici ed elettronici di conversione energetica.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Criteri di scelta dei componenti per la progettazione di un sistema elettronico di potenza. - Progettazione di componenti magnetici. - Progettazione dei sistemi di controllo analogici e digitali per i sistemi elettronici di potenza. <p>Capacità e competenze acquisite</p> <ul style="list-style-type: none"> - Conoscenza di un flusso di progettazione di un sistema elettronico per la conversione energetica. - Capacità di selezione dei componenti attivi appropriati ad una applicazione. - Capacità di distinguere criteri di dimensionamento dei componenti passivi. - Capacità di analisi di circuiti a per la conversione energetica tramite l'utilizzo di software circuitali. 	
17.	Power Electronics	ING-INF/01	<p>Knowledge and understanding of design strategies for electrical and electronic circuit used in power conversion systems.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Design criteria of active components in power electronics systems. - Design of magnetic components. - Design of analog or digital control for power electronic systems. <p>Ability and skills acquired</p> <ul style="list-style-type: none"> - Knowledge of design flow of an electronic system for energy conversion. - Ability to select active components appropriate for a power electronics design. - Ability to design passive components. - Analysis of power conversion circuits by using simulation software. 	
18.	Elettronica industriale	ING-INF/01	<p>Conoscenza e comprensione degli schemi circuitali utilizzati per la conversione energetica utilizzati dagli apparati di automazione industriale ai sistemi portatili.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Analisi termica dei sistemi elettronici. - Analisi dei circuiti di conversione DC-DC, AC-DC e AC-AC. - Conoscenza sulle tecniche di controllo dei circuiti a commutazione. <p>Capacità e competenze acquisite</p> <ul style="list-style-type: none"> - Comprensione di problematiche di tipo applicativo industriale che richiedono nozioni multidisciplinari. - Competenza sui i sistemi di gestione dell'energia elettrica utilizzati nei sistemi elettronici e nell'automazione industriale. 	

18.	Industrial Electronics	ING-INF/01	<p>Knowledge and understanding of circuits for energy conversion used both in the electronic automation and in the consumer electronics applications.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Thermal analysis of electronic systems. - Analysis of the DC-DC, AC-DC and AC-AC converters. - Knowledge on analog and digital control techniques for switching converters. <p>Ability and skills acquired</p> <ul style="list-style-type: none"> - Multidisciplinary knowledge on Industrial applications. - Competence on energy management systems used in electronic devices and in industrial automation. 	
19.	Laboratorio di antenne	ING-INF/02	<p>Il corso si propone di insegnare agli studenti a eseguire il design ed il prototipo di diversi tipi di antenna, e di misurare le prestazioni delle antenne realizzate.</p> <p>Competenze acquisite:</p> <ul style="list-style-type: none"> - apprendimento delle tecniche di progetto, ottimizzazione e caratterizzazione di antenne filiformi, di volume e stampate; - realizzazione sperimentale di antenne filiformi, di volume e stampate; - capacità di esecuzione delle misure di return loss, guadagno, diagramma di radiazione ed ERP di un'antenna. 	
19.	Antennas Laboratory	ING-INF/02	<p>The course aims at teaching students to design, manufacture and measure parameters of various antennas.</p> <p>Acquired skills are</p> <ul style="list-style-type: none"> - ability to design, optimize and manufacture linear, volume and printed antennas; - ability to measure return loss, gain, radiation pattern and ERP of antennas. 	
20.	Laboratorio didattico di ingegneria dell'informazione	ING-INF/03	<p>Allo studente viene chiesto di sviluppare un progetto autonomo.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Conoscenza e comprensione: deve imparare a capire le specifiche di progetto. - Capacità di applicare conoscenza e comprensione: necessarie per sviluppare il progetto. - Autonomia di giudizio: necessaria perché sviluppa il progetto in modo indipendente. - Abilità comunicative: necessarie per preparare la relazione finale. - Capacità di apprendimento: necessaria per imparare nuove tecniche necessarie allo sviluppo del progetto. 	
20.	ICT Laboratory	ING-INF/03	<p>The student is asked to develop a project.</p> <ul style="list-style-type: none"> - The student needs knowledge in order to understand the project specs. - The student needs the skill to apply knowledge in order to do the development. - The student must be autonomous since she/he develops the project autonomously. - The student needs communication skills to create the final report. - The student must be able to learn in order to learn new techniques necessary to the development of the project. 	
21.	Meccatronica e robotica	ING-IND/13	<p>Il corso fornisce le conoscenze necessarie a comprendere i principi di funzionamento dei sistemi meccatronici (in particolare dei robot), le tecniche di modellazione di meccanismi tridimensionali, nonché le competenze utili all'analisi del comportamento di un sistema meccatronico</p>	

			<p>dal punto di vista della parte elettrica e alla sua progettazione.</p> <p>Lo studente sarà in grado di costruire modelli cinematici di meccanismi spaziali e di utilizzarli per effettuare l'analisi cinematica diretta e inversa di robot e di sistemi meccatronici in genere, nonché la pianificazione di traiettorie degli stessi. Sarà inoltre in grado di costruire un modello dinamico del sistema meccatronico a partire dalla modellazione dinamica di ciascun componente e progettarne gli schemi di regolazione.</p> <p>Egli acquisirà inoltre la capacità di scegliere autonomamente la tecnica più adeguata per lo svolgimento delle suddette attività, e di comunicare con argomentazioni opportune le motivazioni di tale scelta.</p> <p>Lo studente svilupperà anche la capacità di individuare in autonomia la componentistica necessaria (motore, azionamento, controllore, etc.) a seconda dello specifico campo di utilizzo richiesto. Tale scelta verrà motivata sulla base di criteri di efficienza e economicità, criteri che lo studente sarà in grado di sintetizzare ed esporre in fase di stesura di un progetto.</p> <p>Lo studente, infine, apprenderà un metodo che potrà utilizzare per l'analisi quantitativa di problematiche relative ai sistemi meccatronici, e in particolare ai robot, di cui potrà servirsi per finalità progettuali. Apprenderà inoltre i principi del controllo dei sistemi meccatronici, ovvero strumenti per la soluzione di diversi problemi sia in campo specificamente ingegneristico che in altri campi.</p>	
21.	Mechatronics and Robotics	ING-IND/13	<p>The course provides the knowledge needed to understand the operating principles of mechatronic systems (in particular robots) and the modeling techniques of three-dimensional mechanisms, to be used in the synthesis of controllers, as well as the skills needed for the analysis and synthesis of control systems for mechatronic systems.</p> <p>The student will be able to build kinematic models of spatial mechanisms and use them to perform the direct and inverse kinematic analysis of a robot (or, in general, of a mechatronic system), as well as to perform trajectory planning for the same devices. Moreover, starting from every single macro-component, the student will develop the capabilities to build a dynamic model of the overall system and design its control system.</p> <p>He will also acquire the ability to autonomously choose the most suitable technique for carrying out such activities, and to communicate, with appropriate arguments, the reasons for his choices. The student will also develop the ability to independently identify the best control components (motor, drives, controller, etc.) according to the specific use requirements. This choice will be motivated on the basis of efficiency and cost-effectiveness criteria. The student will be able to synthesize such criteria and provide all the necessary information and motivation during the drafting of a project.</p> <p>Moreover, the student will learn a method that may be used for the quantitative analysis of problems related to mechatronic systems, (in particular to robots), and will be able to use it for design purposes. The student will also learn the principles of control of mechatronic systems, namely new tools for solving many types of problems, both in the engineering field and in other fields.</p>	

22.	Microonde	ING-INF/02	<p>Il corso si propone di fornire le metodologie per lo studio ed il progetto di circuiti e dispositivi alle microonde.</p> <p>Competenze acquisite:</p> <ul style="list-style-type: none"> - conoscenza della terminologia, dei parametri e delle principali metodologie di studio dei circuiti a microonde; - comprensione delle problematiche relative allo studio e dimensionamento di dispositivi quali risonatori metallici e dielettrici, filtri, divisori ed accoppiatori direzionali. 	
22.	Microwaves	ING-INF/02	<p>Objectives: the course aims to supply the methodology for the study and the design of microwave circuits and devices.</p> <p>Acquired skills:</p> <ul style="list-style-type: none"> - comprehension of terms and parameters in use for the study of microwave circuits; - design of microwave devices (metallic and dielectric resonators, filters, directional couplers, etc.). 	
23.	Nanoelectronic Devices and Circuits with High Energy Efficiency for IoT Applications	ING-INF/01	<p>Nell'ambito delle applicazioni di elettronica pervasiva e di Internet-of-Things (IoT) l'efficienza energetica nell'elaborazione dell'informazione è fattore abilitante e figura di merito di primaria importanza. Il corso fornirà conoscenze di tipo fondamentale, pratico e di progetto relative a dispositivi e circuiti capaci di aumentare l'efficienza energetica dei sistemi elettronici:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aspetti fondamentale, pratici ed ingegneristici relativi alla minima tensione di alimentazione. - Tecniche di transistor stacking e body-biasing per ridurre correnti statiche: energia minima per operazione svolta e corrente di sottosoglia dei transistori. - Memorie SRAM per funzionamento a tensioni di alimentazioni ultra-basse. - Transistori su scala nanometrica: approccio di Landauer al trasporto di carica, modo di trasmissione, quantizzazione della conduttanza. - Limiti del modello di Landauer e legame con modelli macroscopici di tipo deriva-diffusione (drift-diffusion). - Calcolo di trasmissione e corrente in transistori nanometrici: elementi di trasporto quantistico, metodi approssimati e metodi semi-classici. - Corrente di sottosoglia in transistori MOSFET: limite fondamentale dei 60mV/dec. - Transistori innovativi per superare il limite dei 60mV/dec: a) transistori ad effetto tunnel; b) transistori ferroelettrici con capacità differenziale negativa. - Elementi base di <i>neuromorphic computing</i> e reti neurali ispirate alla biologia. Circuiti CMOS per neuroni e sinapsi artificiali. Memristori per implementazioni <i>hardware</i> di reti neurali. <p>Lo studente acquisirà capacità specifiche relative a:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Risoluzione analitica o numerica di semplici problemi di trasporto in transistori nanometrici. - Valutazione mista di tipo dispositivo-circuito dell'efficienza energetica di circuiti elementari che utilizzano transistori di nuova concezione. 	
23.	Nanoelectronic Devices and Circuits with High Energy Efficiency for IoT Applications	ING-INF/01	<p>In the wide scenario of the Internet-of-Things (IoT) the energy efficiency of information technologies is an enabling aspect and a figure of merit of prominent importance. This course will provide the fundamental and</p>	

			<p>practical knowledge necessary for the design of devices and circuits able to substantially improve the energy efficiency of electronic circuits and systems:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fundamental, practical and engineering aspects setting a lower limit to the supply voltage; - Low leakage design techniques including transistor stacking and body-biasing: minimum energy per operation and link to the transistors' sub-threshold current; - SRAM memories for ultra low voltage (ULV) operation; - Nanoscale MOSFETs: Landauer approach to charge transport, transmission modes and conductance quantization; - Limitations of the Landauer model and link to macroscopic, drift-diffusion models; - Calculation of transmission and current in nanoscale transistors: fundamentals of quantum transport, approximated methods and semi-classical methods; - Sub-threshold current in the MOSFET: fundamental limit to 60mV/dec; - Novel transistor concepts to overcome the 60mV/dec limit: a) Band-to-band-tunnelling transistors; b) Ferroelectric based transistors exploiting a negative differential capacitance; - Basic of <i>neuromorphic computing</i> and bio-inspired neural networks. CMOS circuits for artificial neurons and synapses. Memristors for a hardware implementation of neural networks. <p>The student will gain specific expertise in terms of:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Analytical and numerical solution of simple transport problems in nanoscale FETs; - Mixed device circuit evaluation of the energy efficiency of elementary circuits exploiting novel transistor concepts. 	
24.	Neural, Bio-inspired and Quantum Computing	ING-INF/01	<p>Il Corso si propone di illustrare quali siano i fondamenti della computazione non algoritmica la quale, in presenza della complessità e mole dei dati oggi disponibili, si presenta come un valido strumento per l'estrazione del valore dai dati stessi, laddove non esista, o sia difficile formalizzare, un modello dei fenomeni sottostanti. Oltre allo studio teorico del contesto disciplinare, verranno forniti anche gli strumenti operativi per affrontare l'analisi dei dati in un approccio non algoritmico, in particolare per quanto attiene alle Reti Neurali Artificiale e ai modelli di calcolo di ispirazione biologica.</p> <p>Particolare profondità verrà riservata allo studio del paradigma di computazione quantistica che verrà preceduto da una illustrazione dei principali risultati e metodi formali della Meccanica Quantistica. Il corso procederà anche alla risoluzione di problemi complessi, la cui soluzione verrà affrontata, via via, utilizzando in pratica gli strumenti approfonditi a livello teorico.</p> <p>Competenze Acquisite:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Conoscenza dei principali paradigmi di calcolo non algoritmico. - Metodologie di progetto di applicazioni non algoritmiche. - Reti Neurali Artificiali e strumenti software per il loro utilizzo. - Elementi di Meccanica Quantistica, Quantum Computing e sue applicazioni. 	

24.	Neural, Bio-inspired and Quantum Computing	ING-INF/01	<p>The Class aims at conveying to the students the fundamental aspect of non-algorithmic computation which, in presence of the complexity and amount of data available today, represents a powerful alternative to conventional solutions for data value exploitation, especially when models for the underlying phenomena are not available or difficult to derive. Besides the theoretical analysis of the discipline, practical elements and tools for non-algorithmic data analysis will be provided, in particular as far as Artificial Neural Networks and Bio-inspired algorithms and tools are concerned. Substantial in-depth analysis will be devoted to Quantum Computation, whose topics will be preceded by an introductory illustration of Quantum Mechanics fundamental aspects and formalism. The Class will then proceed to the design and implementation of non-algorithmic approaches to the solution of complex phenomena whose solution will be tackled using the concepts and tools analyzed during the theoretical portion of the Class.</p> <p>Acquired Skills:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Knowledge of main non-algorithmic computational paradigm. - Design methodologies for the non-algorithmic solution of complex problems. - Artificial Neural Networks and tools for their practical use. - Elements of Quantum Mechanic, Quantum Computing and applications. 	
25.	Propagazione guidata	ING-INF/02	<p>Il corso si propone di fornire le metodologie per lo studio ed il progetto delle guide d'onda metalliche e dielettriche. Competenze acquisite:</p> <ul style="list-style-type: none"> - conoscenza della terminologia, dei parametri delle guide metalliche; - conoscenza della terminologia, dei parametri delle guide dielettriche. 	
25.	Guided propagation	ING-INF/02	<p>Objectives: the course aims to supply the methodology for the study and the design of metallic and dielectric waveguides.</p> <p>Acquired skills:</p> <ul style="list-style-type: none"> - comprehension of terms and parameters in use for the study of metallic waveguides; - comprehension of terms and parameters in use for the study of dielectric waveguides. 	
26.	Simulazione avanzata per il progetto di sistemi elettronici	ING-IND/31	<p>La simulazione al computer è diventata un importante pilastro del progresso scientifico e tecnologico. La simulazione numerica, infatti, consente di affrontare problemi troppo costosi o addirittura impossibili da affrontare sperimentalmente. In particolare, l'ingegneria computazionale è un moderno campo di ricerca interdisciplinare che si occupa della modellazione, analisi e progettazione ingegneristica assistita al computer. Questi sviluppi hanno creato un grande bisogno di esperti che uniscano le competenze di base di ingegneria elettrica alle discipline rilevanti della matematica ed informatica. L'obiettivo di questo corso è quello di preparare gli studenti a risolvere problemi elettromagnetici al computer mediante metodi numerici allo stato dell'arte.</p> <p>Abilità da acquisire:</p>	

			<ul style="list-style-type: none"> - Decidere il problema elettromagnetico da risolvere (elettrostatica, magnetostatica, magneto-quasistatica, elettro-quasistatica, propagazione elettromagnetica) in base all'applicazione. - Conoscere i metodi e software per la discretizzazione del dominio di calcolo in una griglia. - Conoscere i modelli numerici allo stato dell'arte per la soluzione di problemi elettromagnetici. - Implementare in modo efficiente varie tecniche numeriche per la soluzione di problemi elettromagnetici in linguaggio Matlab, C++ o Fortran 90. - Implementare i metodi di stima dell'errore "a posteriori" ed adattività della griglia di calcolo. <p>Al termine del corso, lo studente avrà conseguito l'abilità di:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Utilizzare software commerciali per risolvere i problemi elettromagnetici che nascono nell'ambito dell'ingegneria elettrica ed analizzare criticamente i risultati che forniscono. - Capacità di scrivere software di simulazione elettromagnetica su misura per esigenze specifiche. - Sfruttare la teoria sulla stima dell'errore "a posteriori" per valutare l'accuratezza della simulazione. 	
26.	Advanced Simulation for Electrical System Design	ING-IND/31	<p>Computer simulation has become a major pillar of progress. Numerical simulation, in fact, allows to address problems not possible, difficult, too costly or even impossible to address experimentally. In particular, Computational Engineering (CE) is a modern interdisciplinary field of research that deals with the computer-assisted modeling, analysis and design in engineering.</p> <p>These developments have created a great need for experts that combine the core competences of electrical engineering to the relevant disciplines of mathematics and computer science. The objective of this course is to prepare the students to solve emerging and challenging electromagnetic problems by numerical methods on a computer.</p> <p>Acquired skills:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ability to use a commercial software to solve electromagnetic problems arising in electrical engineering analysis and design and analyze critically the results they provide - Ability to write a software for electromagnetic simulations tailored for specific needs - Understand how the guaranteed and computable a posteriori error bounds can greatly help engineers to assess the accuracy of the simulation. 	
27.	Sistemi di telecomunicazione	ING-INF/03	<p>Il corso fornisce alcuni strumenti avanzati per l'analisi e il dimensionamento dei sistemi di telecomunicazione. In particolare, viene introdotto lo strumento della rappresentazione di segnali determinati e aleatori nello spazio generato da funzioni ortogonali. Per lo studio dei segnali in banda passante (radio), si introduce il sistema equivalente in banda base. Si considerano le tecniche di codifica di sorgente e di canale e si inquadrano nell'ambito della teoria dell'informazione. Viene descritta la teoria del ricevitore ottimo, la decodifica di sequenze a massima verosimiglianza, l'equalizzazione lineare in presenza di interferenza di intersimbolo. Il corso prevede</p>	

			<p>esercitazioni Matlab relative alla simulazione e al dimensionamento di un sistema di trasmissione.</p> <p>Competenze acquisite:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Capacità di comprendere gli elementi avanzati di un sistema di trasmissione e di valutarne le prestazioni. - Acquisizione di competenze relative alla teoria e agli aspetti pratici relative all'elaborazione e trasmissione dell'informazione. - Acquisizione di competenze avanzate sulla modellizzazione dei segnali nei sistemi di trasmissione. - Capacità di esporre un argomento teorico in forma logica e autoconsistente, inquadrandolo nel contesto. - Capacità di studiare nuovi argomenti tecnici in forma logica e autoconsistente e in modo autonomo. - Capacità di risolvere nuovi problemi, relative agli argomenti del corso, sulla base delle conoscenze acquisite nell'intero corso di studi. 	
27.	Telecommunication Systems	ING-INF/03	<p>This course provides some advanced tools for the analysis and dimensioning of telecommunications systems. In particular, it introduces tools for the representation of deterministic and random signals in the space generated by orthogonal functions. For the study of pass-band signals (radio), the equivalent baseband representation is introduced and analyzed. Source and channel coding techniques are framed in the context of information theory. The course describes the theory of the optimal receiver, maximum likelihood decoding of sequences, linear equalization in the presence of intersymbol interference. The course includes Matlab exercises related to simulation and design of a transmission system.</p> <p>Acquired skills:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ability to understand the advanced elements of a transmission system and to evaluate its performance - Acquisition of skills related to the theory and the practical aspects relating to the processing and transmission of information - Acquisition of advanced knowledge on modeling signals in transmission systems. - Ability to expose a theoretical argument in a logical and self-consistent, framing it in context. - Ability to independently learn and develop new technical topics in a logical and self-consistent manner. - Ability to solve new problems, related to the topics of this exam, based on the knowledge gained in the whole course of studies. 	
28.	Sistemi elettronici analogico-digitali	ING-INF/01	<p>Il corso si prefigge di fornire le seguenti conoscenze:</p> <ul style="list-style-type: none"> - funzionamento dei sistemi per telecomunicazione a radio-frequenza sia dal punto di vista della loro struttura che degli standard impiegati; - identificazione dei principali fattori di merito dei sistemi a radio-frequenza; - principio di funzionamento di sistemi RFID e comunicazioni tramite link seriale. <p>Lo studente dovrebbe acquisire le seguenti capacità:</p> <ul style="list-style-type: none"> - calcolo delle figure di merito di un sistema RF partendo dai parametri dei singoli blocchi che lo compongono; - progetto a livello di schema a blocchi di un rice-trasmittitore RF; 	

			<ul style="list-style-type: none"> – comprensione dei data-sheet di componenti integrati per sistemi RF. 	
28.	Mixed analog/digital electronic systems	ING-INF/01	<p>Aim of the course is providing to the students the following knowledge:</p> <ul style="list-style-type: none"> – functioning of RF communication system both in terms of their structure as well as of the communication standards employed; – identification of the main figures of merit of RF systems; – basics of RFID systems and communication systems based on serial links. <p>The students should acquire the following skills:</p> <ul style="list-style-type: none"> – computing the noise in simple electronic circuits; – computing the figures of merit of RF systems starting from the parameters of the single blocks; – designing RF transceivers at the system-level; – understanding the data-sheets of RF integrated circuits. 	
29.	Teoria dei sistemi e del controllo	ING-INF/04	<p>Conoscenze richieste:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Principi base dei sistemi dinamici. – Analisi e sintesi di sistemi dinamici. <p>Capacità acquisite:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Costruzione e analisi di modelli matematici. – Progetto di sistemi di controllo. – Implementazione di algoritmi di controllo. 	
29.	System and Control Theory	ING-INF/04	<p>Knowledge:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Basic principles of dynamic systems. – Analysis and synthesis of dynamic systems. <p>Abilities:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Construction and analysis of mathematical models. – Control system design. – Implementation of control algorithms. 	
30.	Visione artificiale	ING-INF/05	<p>Il corso mira a fornire allo studente gli strumenti teorici e pratici per affrontare il problema del recupero della struttura tridimensionale di una scena a partire dalle sue proiezioni bidimensionali: le immagini. Si tratta del problema inverso risolto invece dalla la Grafica computazionale, che genera immagini a partire da una descrizione geometrica della scena.</p> <p>Verrà affrontato lo studio del modello stenopeico di fotocamera e delle relazioni geometriche che sussistono tra molteplici immagini di una medesima scena.</p> <p>Competenze acquisite</p> <ul style="list-style-type: none"> – Comprensione del processo di formazione dell'immagine. – Metodi geometrici per il recupero della forma tridimensionale da immagini. – Metodi geometrici per l'analisi e la elaborazione delle immagini. – Metodi geometrici per l'orientazione della telecamera. – Estrazione ed accoppiamento di punti salienti nelle immagini. 	
30.	Computer Vision	ING-INF/05	<p>Objectives:</p> <p>The course aims at providing the student with the theoretical and practical tools to tackle the problem of</p>	

			<p>recovering the 3D structure of a scene starting from its 2D projections: the images. This can be seen as the inverse of Computer Graphics, where images are rendered starting from a geometric description of the scene. The focus will be on the pinhole camera model and on the geometric relationships among multiple projections of a scene.</p> <p>Acquired skills:</p> <ul style="list-style-type: none">- Understanding of the imaging process- Geometrical methods for recovering three-dimensional shape from images- Geometrical methods for image processing and analysis- Geometrical methods for camera orientation- Image features detection and matching	
--	--	--	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--