

Corso di Laurea specialistica in Ingegneria Elettrica (Classe delle lauree specialistiche in Ingegneria Elettrica – n. 31/S)

La formazione del laureato specialista in Ingegneria Elettrica è rivolta all'acquisizione di competenze in ambiti disciplinari che spaziano dalla produzione, trasmissione e distribuzione dell'energia elettrica, alla trasformazione, conversione e regolazione della stessa in sistemi anche ampiamente automatizzati, alla sua utilizzazione nel campo della produzione di beni e di servizi in ambienti industriali, civili e legati al trasporto pubblico e privato.

L'organizzazione del Corso di Laurea specialistica in Ingegneria Elettrica si propone innanzitutto di consolidare la preparazione a largo spettro degli allievi, sicura garanzia per il pronto inserimento nel mondo del lavoro del laureato specialista e, quindi, di approfondire ed aggiornare la formazione nell'ambito dell'ingegneria elettrica attraverso l'acquisizione delle metodologie avanzate e specifiche di settore.

Il percorso di studi è impostato in modo da privilegiare le seguenti priorità di indirizzo di formazione:

1. integrazione, razionalizzazione e finalizzazione dei contenuti delle discipline definite come propedeutiche, necessarie per acquisire gli strumenti metodologici e di calcolo di base. Quest'area di formazione si pone l'obiettivo di rafforzare la preparazione di base e di renderla, nel contempo, più operativa anche ai fini del prosieguo degli studi successivi (Dottorato, Master);
2. razionale allargamento della formazione di carattere generale sia tecnologica sia metodologica nell'area di discipline definite "caratterizzanti" dell'Ingegneria Elettrica, attraverso il coordinamento più stretto con i contenuti delle discipline ingegneristiche affini, sempre presenti ormai nel sistema elettrico irreversibilmente orientato verso una sempre più spinta integrazione tecnologica;
3. mantenimento di una chiara valenza interdisciplinare alla formazione professionale generale capace di garantire al laureato specialista di inserirsi nel mercato professionale innanzitutto da "Ingegnere".

La Laurea specialistica si consegue mediante l'acquisizione di 300 Crediti Formativi Universitari (CFU), ivi compresi quelli già acquisiti con il conseguimento della Laurea.

Curriculum

Insegnamento	Modulo	Settore scientifico - disciplinare	CFU	Attività formativa (#)	Propedeuticità
I Anno – 1° semestre					
Sistemi dinamici	Sistemi dinamici	MAT/07	3	a	Fisica Matematica
Metodi matematici per l'ingegneria industriale	Metodi matematici per l'ingegneria industriale	MAT/05 MAT/07	6	a	Analisi matematica II
Regolazione e controllo dei sistemi energetici	Regolazione e controllo dei sistemi energetici	ING-IND/08	3	c	Macchine
Campi elettromagnetici e propagazione	Campi elettromagnetici e propagazione	ING-INF/02	6	c	Principi di ingegneria elettrica o Principi di ingegneria elettrica II
Misure elettriche	Misure elettriche	ING-INF/07	6	b	Fondamenti della misurazione I
I Anno – 2° semestre					
Elettrotecnica	Elettrotecnica	ING-IND/31	6	b	Principi di ingegneria elettrica o Principi di ingegneria elettrica II
Sistemi elettrici per l'energia	Sistemi elettrici per l'energia	ING-IND/33	6	b	Progettazione di impianti elettrici in media e bassa tensione
Laboratorio di impianti elettrici	Laboratorio di impianti elettrici	ING-IND/33	3	b	Progettazione di impianti elettrici in media e bassa tensione

Automatica	Automatica	ING-INF/04	6	c	Elementi di automatica
Dinamica delle macchine elettriche	Dinamica delle macchine elettriche	ING-IND/32	3	b	Macchine elettriche II
Conversione statica dell'energia elettrica	Conversione statica dell'energia elettrica	ING-IND/32	3	b	Fondamenti di elettronica di potenza Metodi matematici per l'ingegneria industriale
Laboratorio di elettronica di potenza	Laboratorio di elettronica di potenza	ING-IND/32	3	b	Fondamenti di elettronica di potenza
II Anno – 1° semestre					
Nozioni giuridiche fondamentali ⁽¹⁾	Nozioni giuridiche fondamentali ⁽¹⁾	IUS/01	6	c	Nessuna
Azionamenti elettrici	Azionamenti elettrici	ING-IND/32	6	b	Dinamica delle macchine elettriche Fondamenti di elettronica di potenza
Gestione ed esercizio dei sistemi elettrici	Gestione ed esercizio dei sistemi elettrici	ING-IND/33	6	b	Sistemi elettrici per l'energia
Insegnamenti curriculari ⁽²⁾	Moduli curriculari ⁽²⁾		12	b/c	
II Anno – 2° semestre					
Il rischio e la sicurezza nei sistemi elettrici	Il rischio e la sicurezza nei sistemi elettrici	ING-IND/33	3	b	Sistemi elettrici per l'energia
Insegnamenti curriculari ⁽²⁾	Moduli curriculari ⁽²⁾		12	b/c	
	A scelta autonoma dello studente ⁽³⁾		6	d	
	Tirocinio/Ulteriori conoscenze linguistiche		6	f	
	Prova finale		9	e	

(#) Ai sensi dell'Art.10 comma 1 del D.M n. 509 del 3/11/1999: a = di base; b = caratterizzanti; c = affini o integrative; d = a scelta autonoma dello studente; e = prova finale e lingua straniera; f = ulteriori conoscenze.

⁽¹⁾: Se è stato già acquisito uno dei due moduli, è possibile inserire, a scelta, un modulo curriculare.

⁽²⁾: E' obbligatorio scegliere un insegnamento di 6 CFU dalla Tabella A e insegnamenti per 18 CFU tutti appartenenti ad uno dei curricula di seguito riportati.

⁽³⁾: Si consiglia di scegliere un modulo appartenente ad uno dei curricula di seguito riportati.

Tabella A

Insegnamento	Modulo	Settore scientifico - disciplinare	CFU	Attività formativa (#)	Propedeuticità
1° semestre					
Modelli numerici per i campi	Modelli numerici per i campi	ING-IND/31	6	b	Metodi matematici per l'ingegneria industriale Elettrotecnica
2° semestre					
Modellistica elettromagnetica dei materiali	Modellistica elettromagnetica dei materiali	ING-IND/31	6	b	Elettrotecnica

Curriculum Energia
(Lo studente scelga moduli per 18 CFU)

Insegnamento	Modulo	Settore scientifico - disciplinare	CFU	Attività formativa (#)	Propedeuticità
1° semestre					
Energetica	Energetica	ING-IND/10	6	c	Nessuna
Teoria e tecnica degli isolamenti degli impianti elettrici	Teoria e tecnica degli isolamenti degli impianti elettrici	ING-IND/33	3	b	Nessuna
Misure e collaudi su macchine e impianti	Misure e collaudi su macchine e impianti	ING-INF/07	6	b	Misure elettriche
2° semestre					
Elementi di costruzioni elettromeccaniche	Elementi di costruzioni elettromeccaniche	ING-IND/32	3	b	Macchine elettriche II
Fondamenti chimici delle tecnologie	Fondamenti chimici delle tecnologie	CHIM/07	3	c	Chimica
Impianti di produzione dell'energia elettrica	Impianti di produzione dell'energia elettrica	ING-IND/33	3	b	Sistemi elettrici per l'energia
Illuminotecnica	Illuminotecnica	ING-IND/11	6	c	Principi di ingegneria elettrica o Principi di ingegneria elettrica II

Curriculum Industriale
(Lo studente scelga moduli per 18 CFU)

Insegnamento	Modulo	Settore scientifico - disciplinare	CFU	Attività formativa (#)	Propedeuticità
1° semestre					
Trasmissione del calore	Trasmissione del calore	ING-IND/10	6	c	Fisica tecnica industriale
Automazione dei sistemi elettrici	Automazione dei sistemi elettrici	ING-IND/33	6	b	Sistemi elettrici per l'energia Automatica
Dinamica delle macchine	Dinamica delle macchine	ING-IND/13	3	c	Meccanica applicata alle macchine
Elettronica applicata II	Elettronica applicata II	ING-INF/01	3	c	Elettronica applicata
2° semestre					
Elettronica industriale di potenza	Elettronica industriale di potenza	ING-IND/32	6	b	Fondamenti di elettronica di potenza
Misure per la qualità	Misure per la qualità	ING-INF/07	6	b	Misure elettriche

Curriculum Trasporti
(Lo studente scelga moduli per 18 CFU)

Insegnamento	Modulo	Settore scientifico - disciplinare	CFU	Attività formativa (#)	Propedeuticità
1° semestre					
Dinamica delle macchine	Dinamica delle macchine	ING-IND/13	3	c	Meccanica applicata alle macchine
Scienza delle costruzioni II	Scienza delle costruzioni II	ICAR/08	3	c	Scienza delle costruzioni
Propulsione dei veicoli elettrici	Propulsione dei veicoli elettrici	ING-IND/32	6	b	Dinamica delle macchine elettriche
2° semestre					
Misure per la compatibilità elettromagnetica	Misure per la compatibilità elettromagnetica	ING-INF/07	6	b	Fondamenti della misurazione I Campi elettromagnetici e propagazione
Fondamenti chimici delle tecnologie	Fondamenti chimici delle tecnologie	CHIM/07	3	c	Chimica
Impianti elettrici ed elettronici di bordo	Impianti elettrici ed elettronici di bordo	ING-IND/33	3	b	Sistemi elettrici per l'energia Azionamenti elettrici
Sistemi elettrici per i trasporti	Sistemi elettrici per i trasporti	ING-IND/33	6	b	Sistemi elettrici per l'energia Elettrotecnica

Attività formative del Corso di Laurea specialistica in Ingegneria Elettrica.

Insegnamento: Automatica

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Automatica	ING-INF/04	c	I	6

Modalità di insegnamento: Lezione	Ore impegno docente: 36	Ore impegno studente: 108
Modalità di insegnamento: Esercitazione	Ore impegno docente: 12	Ore impegno studente: 30
Modalità di insegnamento: Laboratorio	Ore impegno docente: 6	Ore impegno studente: 12

Obiettivi formativi:

Presentare i principi della progettazione di sistemi di controllo, anche con riferimento a sistemi multivariabili con tecniche di controllo ottimo mediante l'ausilio di osservatori dello stato.

Contenuti:

- a) Progettazione di reti correttrici per sistemi SISO,
- b) Cenni sul controllo digitale,
- c) Proprietà strutturali dei sistemi lineari: Controllabilità, Osservabilità e Stabilità,
- d) Controllo ottimo a ciclo chiuso per sistemi lineari: formulazione generale del problema e soluzione del problema LQR,

Il problema della stima dello stato; osservatori. Teoria degli osservatori e Principio di Separazione.

Propedeuticità: Elementi di automatica.

Prerequisiti : Nessuno.

Modalità di accertamento del profitto: Prova scritta e accertamento orale.

Insegnamento: Automazione dei sistemi elettrici

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Automazione dei sistemi elettrici	ING-IND/33	b	II	6

Modalità di insegnamento: Lezione	Ore impegno docente: 40	Ore impegno studente: 120
Modalità di insegnamento: Esercitazione	Ore impegno docente: 15	Ore impegno studente: 30

Obiettivi formativi:

Il modulo ha come obiettivo formativo quello di fornire allo studente le nozioni fondamentali dei principi di regolazione e controllo dei sistemi elettrici di potenza e dei sistemi elettrici industriali.

Contenuti:

Regolazione della frequenza e delle potenze attive. Regolazione della frequenza e delle potenze attive in un sistema di reti interconnesse. Criteri di autonomia. Regolazione della tensione. Controllo dei sistemi di eccitazione. Variatori sotto carico. Tecniche di controllo per il miglioramento della stabilità elettromeccanica. Convertitori per il miglioramento del comportamento dinamico dei sistemi elettrici di potenza. Automazione dei sistemi elettrici industriali. SCADA per sistemi elettrici industriali. Applicazioni di tecniche di controllo a tempo discreto. Controllo ottimo a tempo discreto. Distacco carichi. Realizzazione e riconoscimento di isole. Sistemi di controllo per la sincronizzazione con la rete di alimentazione. Algoritmi di controllo del carico assorbito. Sistemi automatici di rifasamento. Sistemi di controllo di gruppi statici di continuità. Tecniche di diagnostica real-time.

Propedeuticità: Sistemi elettrici per l'energia, Automatica.

Prerequisiti: Dinamica delle macchine elettriche.

Modalità di accertamento del profitto: Prova orale.

Insegnamento: Azionamenti elettrici

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Azionamenti elettrici	ING-IND/32	b	II	6

Modalità di insegnamento: Lezione
Modalità di insegnamento: Esercitazione
Modalità di insegnamento: Laboratorio
Modalità di insegnamento: Seminario

Ore impegno docente: 40 **Ore impegno studente:** 120
Ore impegno docente: 6 **Ore impegno studente:** 9
Ore impegno docente: 10 **Ore impegno studente:** 15
Ore impegno docente: 3 **Ore impegno studente:** 6

Obiettivi formativi:

Acquisizione delle metodologie di analisi e di sintesi necessarie alla scelta e al dimensionamento degli azionamenti elettrici controllati in catena aperta e in catena chiusa e al loro corretto impiego anche all'interno di sistemi industriali complessi

Contenuti:

Classificazione. Meccanica degli azionamenti elettrici. Standardizzazioni e riferimenti normativi. Riscaldamento delle macchine elettriche: servizi di funzionamento.

Cenni su trasduttori di corrente e velocità.

Comportamento dei motori elettrici alimentati da convertitori statici di energia elettrica.

Controllo in catena aperta ed in catena chiusa. Controllo in cascata. Controllo di stato. Controllo digitale.

Azionamenti con motori in corrente continua ad eccitazione indipendente e a magneti permanenti alimentati tramite raddrizzatori controllati e/o chopper. Strategie di controllo in catena aperta e in catena chiusa. Azionamenti a 1, 2 e 4 quadranti. Controllo di coppia, di velocità, di posizione. Schemi circuitali di controllo.

Azionamenti con motori asincroni alimentati tramite convertitori statici a tensione e a corrente impressa. Funzionamento a frequenza variabile. Controllo in catena aperta. Controllo in catena chiusa scalare. Controllo vettoriale ad orientamento di campo. Frenatura dinamica. Schemi circuitali per azionamenti a 1, 2 e 4 quadranti.

Azionamenti sincroni a controllo vettoriale. "AC e DC brushless" con motori a magneti permanenti. Azionamenti sincroni a riluttanza variabile.

Azionamenti a riluttanza commutata.

Riflessi sulla rete di alimentazione. Impiego di raddrizzatori attivi come primo stadio dei convertitori statici.

Esercitazioni numerico-simulative con impiego di Matlab-Simulink. Laboratorio con azionamenti a controllo digitale.

Propedeuticità: Dinamica delle macchine elettriche, Conversione statica dell'energia elettrica.

Prerequisiti: Regolazione dei motori elettrici, Macchine elettriche II, Automatica.

Modalità di accertamento del profitto: Prova orale.

Insegnamento: Campi elettromagnetici e propagazione

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Campi elettromagnetici e propagazione	ING-INF/02	c	I	6

Modalità di insegnamento: Lezione

Ore impegno docente: 50 **Ore impegno studente:** 150

Obiettivi formativi:

Fornire allo studente i fondamenti fisico-matematici necessari alla comprensione delle proprietà fondamentali dei campi elettromagnetici dinamici e all'impostazione dei problemi di elettromagnetismo. Fornire gli elementi fondamentali della propagazione libera e guidata.

Contenuti:

Interazioni elettromagnetiche e concetto di campo. Richiami di algebra ad analisi vettoriale. Equazioni di Maxwell. Condizioni d'interfaccia. Equazioni di Maxwell nel dominio della frequenza e dei fasori. Relazioni costitutive. Mezzi lineari: risposta impulsiva. Mezzi normali. Teoremi energetici e di unicità. Potenziali elettromagnetici. Equazioni dei potenziali e loro soluzione. Campo irradato da una sorgente elementare e da una sorgente piccola rispetto alla lunghezza d'onda: dipolo elettrico. Irradiazione in presenza di disomogeneità: campo incidente e campo diffuso. Equazione integrale della diffusione. Propagazione guidata: principali tipi di strutture guidanti. Strutture guidanti metalliche: separazione delle componenti trasverse. Soluzioni TEM: linee di trasmissione. Tensione e corrente su una linea. Equazioni delle linee. Soluzione progressiva e stazionaria: coefficiente di riflessione, impedenza, ROS. Alimentazione, interconnessione e terminazione delle linee. Adattamento. Perdite nelle linee: linee con piccole perdite. Guide d'onda: funzioni scalari e vettoriali di modo. Modi TE. Linea equivalente. Modi TM. Espansione modale. Potenza in guida. Propagazione in guida: pulsazione di taglio e diagramma di dispersione. Scelta della banda di utilizzo di una guida. Guida d'onda rettangolare. Propagazione di un segnale non sinusoidale: dispersione. Segnali a banda stretta. Propagazione di un segnale a banda stretta. Velocità di gruppo. Dispersione del segnale.

Propedeuticità: Principi di ingegneria elettrica o Principi di ingegneria elettrica II.

Prerequisiti: Metodi matematici per l'ingegneria industriale.

Modalità di accertamento del profitto: Prova orale.

Insegnamento: Conversione statica dell'energia elettrica

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Conversione statica dell'energia elettrica	ING-IND/32	b	I	3

Modalità di insegnamento: Lezione	Ore impegno docente: 22	Ore impegno studente: 66
Modalità di insegnamento: Esercitazione	Ore impegno docente: 6	Ore impegno studente: 9

Obiettivi formativi:

Fornire agli allievi le nozioni di conversione statica dell'energia elettrica indispensabili per una completa formazione professionale; alcune di tali nozioni sono state impartite esclusivamente a livello informativo nel Corso di Laurea, e altre sono di irrinunciabile rilevanza conoscitiva nell'attuale evoluzione dell'elettronica di potenza.

Contenuti:

Dispositivi a semiconduttori: caratteristiche, prestazioni, comportamento termico, protezioni. Circuiti di snubber: turn-on, turn-off; analisi di funzionamento e criteri di dimensionamento. Trasformatori per convertitori ca-cc. Tecniche di rifasamento per i convertitori ca-cc. Conduzione limite dei convertitori ca-cc: determinazione dell'induttanza critica. Convertitori di frequenza a tensione impressa, Criteri di dimensionamento dei convertitori cc-ca. Tecniche di modulazione PWM: sovrarmodulazione, vettoriali, predittive. Tecniche di controllo dei convertitori di frequenza. Convertitori risonanti; zero voltage e zero current switchings, resonant d. c. link. Convertitori multilivello: tipologie utilizzate.

Propedeuticità: Fondamenti di elettronica di potenza, Metodi matematici per l'ingegneria industriale.

Prerequisiti: Nessuno.

Modalità di accertamento del profitto: Prova orale.

Insegnamento: Dinamica delle macchine

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Dinamica delle macchine	ING-IND/13	c	II	3

Modalità di insegnamento: Lezione	Ore impegno docente: 22	Ore impegno studente: 66
Modalità di insegnamento: Esercitazione	Ore impegno docente: 9	Ore impegno studente: 9

Obiettivi formativi:

Fornire agli allievi i concetti fondamentali e le conoscenze delle problematiche relative alla dinamica delle macchine.

Contenuti: Bilanciamento di rotori rigidi. Macchine bilanciatrici. Sistemi vibranti a più gradi di libertà: modello matematico per sistemi a due gradi di libertà. Smorzatori dinamici. Velocità critiche torsionali. Cuscinetti: cuscinetti magnetici, a elementi volventi, cilindrici, radiali a pattini oscillanti. Teoria della lubrificazione: equazioni di Reynolds, rigidità e smorzamenti equivalenti del film d'olio. Instabilità da film d'olio. Caratterizzazione della cassa e della fondazione.

Propedeuticità: Meccanica applicata alle macchine.

Prerequisiti: Nessuno.

Modalità di accertamento del profitto: Prova orale.

Insegnamento: Dinamica delle macchine elettriche

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Dinamica delle macchine elettriche	ING-IND/32	b	I	3

Modalità di insegnamento: Lezione	Ore impegno docente: 20	Ore impegno studente: 60
Modalità di insegnamento: Esercitazione	Ore impegno docente: 8	Ore impegno studente: 15

Obiettivi formativi:

Il corso si propone di fornire gli strumenti necessari per la determinazione delle caratteristiche di funzionamento e per l'analisi del comportamento delle macchine elettriche rotanti in condizioni di regime sia permanente sia transitorio.

Contenuti:

Modello matematico delle macchine elettriche rotanti ai valori istantanei. Distribuzione discreta degli avvolgimenti. Armoniche spaziali di campo al traferro delle macchine. Caratteristiche di funzionamento in presenza di alimentazioni distorte. Funzionamento della macchina asincrona da generatore su rete attiva di potenza prevalente e su rete autonoma. Problematiche della connessione in rete di macchine sincrone e del loro funzionamento al transitorio e a regime permanente - Sincroni con eccitazione statica. Sincroni con eccitazione a magneti permanenti. Analisi di stabilità.

Propedeuticità: Macchine elettriche II.

Prerequisiti: Nessuno.

Modalità di accertamento del profitto: Prova orale.

Insegnamento: Elementi di costruzioni elettromeccaniche

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Elementi di costruzioni elettromeccaniche	ING-IND/32	b	II	3

Modalità di insegnamento: Lezione	Ore impegno docente: 22	Ore impegno studente: 55
Modalità di insegnamento: Esercitazione	Ore impegno docente: 10	Ore impegno studente: 20

Obiettivi formativi:

Acquisizione delle metodologie di dimensionamento di macchine elettriche rotanti con particolare riguardo alle macchine asincrone destinate ad applicazioni industriali

Contenuti:

Aspetti costruttivi e realizzativi del circuito magnetico e degli avvolgimenti. Criteri di dimensionamento di macchine asincrone per impieghi industriali. Dimensionamento assistito da calcolatore. Influenza della distorsione delle tensioni di alimentazione, della saturazione dei circuiti magnetici, della disuniforme distribuzione della corrente nei conduttori massicci. Perdite e riscaldamento. Determinazione dei parametri elettrici equivalenti. Rumore e vibrazioni.

Propedeuticità: Macchine elettriche II.

Prerequisiti: Fisica tecnica industriale, Meccanica applicata alle macchine, Elementi di informatica.

Modalità di accertamento del profitto: Prova orale.

Insegnamento: Elettronica applicata II

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Elettronica applicata II	ING-INF/01	c	II	3

Modalità di insegnamento: Lezione	Ore impegno docente: 21	Ore impegno studente: 63
Modalità di insegnamento: Esercitazione	Ore impegno docente: 6	Ore impegno studente: 12

Obiettivi formativi:

Completare la preparazione di carattere generale sui dispositivi dei circuiti elettronici alla base delle principali applicazioni.

Contenuti:

Amplificatori operazionali. Circuiti reazionati. Oscillatori elettronici. Trigger di Smith. Regolatori monolitici.

Propedeuticità: Elettronica applicata.

Prerequisiti: Nessuno.

Modalità di accertamento del profitto: Colloquio orale.

Insegnamento: Elettronica industriale di potenza

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Elettronica industriale di potenza	ING-IND/32	b	II	6

Modalità di insegnamento: Lezione
Modalità di insegnamento: Esercitazione
Modalità di insegnamento: Laboratorio
Modalità di insegnamento: Prova intracorso

Ore impegno docente: 39 **Ore impegno studente:** 117
Ore impegno docente: 8 **Ore impegno studente:** 16
Ore impegno docente: 13 **Ore impegno studente:** 13
Ore impegno docente: 4 **Ore impegno studente:** 4

Obiettivi formativi:

Il corso è orientato a un approfondimento e a un ampliamento delle tematiche riguardanti l'elettronica industriale di potenza. Nel corso vengono anche forniti i criteri per la progettazione esecutiva e il controllo dei convertitori di maggior impiego.

Contenuti:

Parte I (2 CFU)

1. Tecnologie elettroniche.
2. Analisi e progetto di Drivers per strutture di conversione: Drivers per pilotaggio e isolamento di strutture raddrizzatrici a controllo di fase; Drivers per pilotaggio ed isolamento di strutture dc-dc ; Drivers per pilotaggio e isolamento di inverter.
3. Filtri in ingresso e in uscita per strutture ac-dc-, dc-dc, dc,ac.
4. Circuiti Snubbers.

Parte II (2 CFU)

1. Analisi e progetto di Convertitori Quasi Risonanti.
2. Analisi e progetto di Switching DC Power Supplies.
3. Convertitori multilivello.

Parte III (2 CFU)

1. Tecniche di analisi di reti lineari periodicamente tempovarianti.
2. Microprocessori nel controllo dell'elettronica industriale di potenza e degli azionamenti: programmazione con PLC; confronto tra tecnologie analogiche e tecnologie digitali nel controllo degli azionamenti e dell'elettronica industriale di potenza; controllo real time usando microprocessori; Microcontrollori: Architetture Intel, Motorola e Texas Instruments.
3. Compatibilità elettromagnetica ed elettronica industriale di potenza. Definizione di alcuni parametri caratterizzanti i disturbi elettromagnetici; Disturbi condotti e irradiati da strutture di elettronica di potenza, spettri; Modellizzazione di alcuni casi concreti. Interventi: filtraggi, schermaggi, messa a terra. Cenni su alcuni metodi di misura: camere riverberanti, camere schermate, celle TEM.

Propedeuticità: Fondamenti di elettronica di potenza.

Prerequisiti: Nessuno.

Modalità di accertamento del profitto: Prova orale.

Insegnamento: Elettrotecnica

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Elettrotecnica	ING-IND/31	b	I	6

Modalità di insegnamento: Lezione **Ore impegno docente:** 50 **Ore impegno studente:** 150

Obiettivi formativi:

Si tratta di un corso dedicato ai modelli quasi stazionari dei campi elettromagnetici e a quello dei circuiti, che viene interpretato come modello delle interazioni tra aree in cui differenti campi quasi stazionari agiscono.

Contenuti:

Fenomeni elettromagnetici: il modello dei campi e dei circuiti. Riepilogo della teoria dei campi, Il modello del campo quasi stazionario e il suo limite di validità. Cosa significa trascurare. Grande, piccolo e trascurabile. La teoria dell'approssimazione: debolezza della consistenza apparente e genuina, formalizzazione generale, cattivo condizionamento. La ricerca di un'approssimazione migliore, il metodo perturbativo, cenni alla teoria della perturbazione singolare. Adimensionalizzazione e scaling, corretta scelta dei parametri di riferimento, parametri adimensionali, teorema di Buckingham. Esempi di applicazione del metodo dei parametri adimensionali: collisione coulombiana, potenziale di Yukawa, momento di dipolo elettrico e magnetico. Esempi di applicazione del metodo perturbativo. Il passaggio dai campi ai circuiti introdotto utilizzando adimensionalizzazione, scaling e perturbazione. I bipoli fondamentali in regime dinamico e loro interpretazione. Teorema di Poynting, la propagazione. Propagazione lungo linee, il modello a parametri concentrati. Le linee come doppi bipoli.

Propedeuticità: Principi di ingegneria elettrica o Principi di ingegneria elettrica II.

Prerequisiti: Nessuno.

Modalità di accertamento del profitto: Tesina e prova orale.

Insegnamento: Energetica

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Energetica	ING-IND/10	c	II	6

Modalità di insegnamento: Lezione **Ore impegno docente:** 30 **Ore impegno studente:** 90

Modalità di insegnamento: Esercitazione **Ore impegno docente:** 30 **Ore impegno studente:** 60

Obiettivi formativi:

Si forniscono agli allievi le competenze di base necessarie per operare nel settore dell'uso razionale ed eco-compatibile delle risorse energetiche (*energy management*), con riferimento agli aspetti sia strettamente tecnici sia normativi e tariffari.

Contenuti:

Classificazione, disponibilità e impatto ambientale delle fonti e dei sistemi di conversione dell'energia. Fonti fossili ed effetto serra, risparmio energetico, fonti rinnovabili. Il quadro normativo e tariffario e la regolamentazione del settore energetico: i mercati dell'energia elettrica e del gas naturale; i sistemi di incentivazione delle fonti rinnovabili e del risparmio energetico: certificati verdi, titoli di efficienza energetica, sanzioni e incentivi previsti nell'ambito del Protocollo di Kyoto. Interventi e strategie per il miglioramento dell'efficienza nella trasformazione e negli usi finali dell'energia: centrali a ciclo combinato, cogenerazione, caldaie ad alta efficienza, pompe di calore, scambiatori di calore per il recupero di reflui termici, isolamento termico, lampade ed elettrodomestici ad alta efficienza, impiego di fonti rinnovabili: principali aspetti tecnologici e progettuali, esempi di analisi di pre-fattibilità tecnico- economica. Fondamenti di pianificazione energetico-ambientale del territorio.

Propedeuticità: Nessuna.

Prerequisiti: Fisica tecnica industriale, Elettrotecnica, Macchine.

Modalità di accertamento del profitto: Prova orale.

Insegnamento: Fondamenti chimici delle tecnologie

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Fondamenti chimici delle tecnologie	CHIM/07	c	II	3

Modalità di insegnamento: Lezione **Ore impegno docente:** 20 **Ore impegno studente:** 60

Modalità di insegnamento: Esercitazione **Ore impegno docente:** 8 **Ore impegno studente:** 15

Obiettivi formativi:

Conoscenza delle trasformazioni della materia che consentono la conversione tra energia chimica ed elettrica, fondamenti delle tecnologie per la produzione e l'accumulo dell'energia. Interpretazione termodinamica dei processi elettrochimici. Conoscenza dei processi di corrosione e dei modi per prevenirla.

Contenuti:

Fondamenti di elettrochimica. Conducibilità elettrica delle soluzioni elettrolitiche. Celle elettrolitiche. Legge di Faraday. Applicazioni commerciali delle celle elettrolitiche. Celle voltaiche o galvaniche: cella rame-argento. Potenziale di elettrodo. Scelta del potenziale di riferimento. Elettrodo standard a idrogeno. Scala elettrochimica. Significato chimico della scala elettrochimica. L'equazione di Nernst. Lavoro elettrico e variazione di energia libera. Corrosione. Protezione dalla corrosione.

Sistemi elettrochimici di interesse tecnologico. Celle voltaiche primarie: Pila Leclanchè, celle a secco alcaline. Celle voltaiche secondarie: accumulatore a piombo, cella nichel-cadmio, celle a combustibile. Sensori elettrochimici

Propedeuticità: Chimica.

Prerequisiti: Nessuno.

Modalità di accertamento del profitto: Prova orale.

Insegnamento: Gestione ed esercizio dei sistemi elettrici

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Gestione ed esercizio dei sistemi elettrici	ING/IND33	b	II	6

Modalità di insegnamento: Lezione	Ore impegno docente: 36	Ore impegno studente: 110
Modalità di insegnamento: Laboratorio	Ore impegno docente: 15	Ore impegno studente: 30
Modalità di insegnamento: Seminario	Ore impegno docente: 6	Ore impegno studente: 10

Obiettivi formativi:

Acquisizione dei concetti relativi alle problematiche di esercizio dei sistemi elettrici in regime di libero mercato, collegati alle varie condizioni di funzionamento in regime statico e dinamico nonché in situazioni di guasto. Consolidamento dei concetti di base dell'economia applicata alla gestione dell'impianto e associati ai requisiti di qualità, prestazione, disponibilità e sicurezza del sistema e del servizio elettrico.

Contenuti:

Concetti introduttivi. Richiami sulla struttura tecnica e organizzativa del sistema elettrico e delle sue componenti (centrali, rete e linee, sistemi di distribuzione e utilizzatori). Il mercato dell'energia elettrica.

Il prodotto e la qualità del servizio elettrico. Il sistema elettrico ed il processo di fornitura dell'energia elettrica. L'esercizio dei sistemi elettrici.

Pianificazione dei sistemi di produzione e trasmissione. Programmazione ed esercizio dei sistemi di produzione e di trasmissione su scala nazionale. Dispacciamento, gestione delle riserve. Stabilità e sicurezza dei sistemi in fase di manovra e di guasto e dei produttori.

Esercizio dei sistemi elettrici di distribuzione. Controllo di stato e riconfigurazione in condizioni di criticità e di guasto. Controllo della qualità dell'energia in entrata e in regime di fornitura.

Esercizio dei sistemi elettrici di utilizzazione in presenza di autoproduzione. Strategie operative e di ottimizzazione dell'esercizio. Automazione delle funzioni di esercizio dell'impianto u.

Tecnologie per la supervisione e il controllo dei sistemi elettrici. Gestione integrata.

Valutazione delle RAMS degli impianti elettrici, in progettazione e in esercizio.

Gestione della manutenzione e dell'obsolescenza. Modelli e tecniche di manutenzione.

Il sistema tariffario. Determinazione del costo del kWh nei diversi tipi di produzione, nell'autoproduzione e nella produzione combinata. Energy management. Metodologie di contenimento delle perdite di energia (Energy saving).

Aspetti gestionali Richiami dei principi di economia. Valutazione del ritorno degli investimenti (singolo progetto, per alternative), metodologie di valutazione del rapporto costi/benefici, Break-even point tra alternative. S.I.A. e V.I.A. per l'impatto aziendale. Project Finance. Albero delle decisioni. Analisi multiple-criteria degli investimenti alternativi. Economia della sicurezza. Tecniche di minimizzazione dei costi di esercizio.

Propedeuticità: Sistemi elettrici per l'energia.

Prerequisiti: Automatica, Elettrotecnica, Dinamica delle macchine elettriche.

Modalità di accertamento del profitto: Prova orale.

Insegnamento: Il rischio e la sicurezza nei sistemi elettrici

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Il rischio e la sicurezza nei sistemi elettrici	ING-IND/33	b	II	3

Modalità di insegnamento: Lezione	Ore impegno docente: 20	Ore impegno studente: 60
Modalità di insegnamento: Esercitazione	Ore impegno docente: 8	Ore impegno studente: 15

Obiettivi formativi:

Fornire elementi di analisi di rischio e sicurezza nei sistemi elettrici.

Contenuti:

Affidabilità e rischio nei sistemi elettrici. Rischio ammissibile. Rischio accettabile. La regola dell'arte. La sicurezza elettrica. I sistemi di alimentazione degli impianti elettrici e la sicurezza negli impianti civili e industriali. Gli impianti elettrici e le norme. Il dimensionamento degli impianti: affidabilità e sicurezza. La verifica degli impianti elettrici e la sicurezza.

Propedeuticità: Sistemi elettrici per l'energia.

Prerequisiti: Nessuno.

Modalità di accertamento del profitto: Prova orale.

Insegnamento: Illuminotecnica

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Illuminotecnica	ING-IND/11	c	II	6

Modalità di insegnamento: Lezione	Ore impegno docente: 46	Ore impegno studente: 115
Modalità di insegnamento: Esercitazione	Ore impegno docente: 10	Ore impegno studente: 20
Modalità di insegnamento: Laboratorio	Ore impegno docente: 10	Ore impegno studente: 15

Obiettivi formativi:

Fornire agli allievi le conoscenze utili ad ottimizzare sul piano economico ed energetico il progetto e la gestione degli impianti di illuminazione per interni ed esterni.

Contenuti:

Visione, fotometria e colorimetria. Sorgenti luminose e loro caratteristiche energetiche e fotometriche. Apparecchi di illuminazione, tipologie, criteri di scelta. Progettazione degli impianti di pubblica illuminazione; ottimizzazione, sicurezza stradale, normative europee. Progettazione degli impianti di illuminazione per interni; ottimizzazione, igiene e sicurezza nei luoghi di lavoro, illuminazione di sicurezza, normative europee. Collaudo e gestione degli impianti di illuminazione; normative. Ammodernamento energetico degli impianti, tecniche, tecniche di finanziamento. Illuminazione naturale.

Propedeuticità: Principi di ingegneria elettrica o Principi di ingegneria elettrica II.

Prerequisiti: Nessuno.

Modalità di accertamento del profitto: Prova orale.

Insegnamento: Impianti di produzione dell'energia elettrica

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Impianti di produzione dell'energia elettrica	ING-IND/33	b	II	3

Modalità di insegnamento: Lezione	Ore impegno docente: 23	Ore impegno studente: 69
Modalità di insegnamento: Esercitazione	Ore impegno docente: 3	Ore impegno studente: 6

Obiettivi formativi:

Il corso si pone come obiettivo quello di fornire agli studenti gli strumenti necessari per l'analisi degli impianti di produzione concentrata di tipo idroelettrico e per un maggior approfondimento di quelli di tipo termoelettrico.

Contenuti:

Impianti idroelettrici. Impianti di produzione e pompaggio. Impianti termoelettrici. Aspetti legati alla connessione degli impianti di produzione concentrata alla rete di III categoria. Servizi ancillari.

Propedeuticità: Sistemi elettrici per l'energia.

Prerequisiti: Nessuno.

Modalità di accertamento del profitto: Prova orale.

Insegnamento: Impianti elettrici ed elettronici di bordo

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Impianti elettrici ed elettronici di bordo	ING-IND/33	b	II	3

Modalità di insegnamento: Lezione	Ore impegno docente: 42	Ore impegno studente: 126
Modalità di insegnamento: Esercitazione	Ore impegno docente: 6	Ore impegno studente: 12
Modalità di insegnamento: Laboratorio	Ore impegno docente: 6	Ore impegno studente: 12

Obiettivi formativi:

Acquisizione di competenze generali e specialistiche in materia di progettazione, realizzazione e gestione di impianti elettrici a bordo di navi, treni e autoveicoli stradali.

Contenuti:

Impianti elettrici a bordo di navi: Generalità – Analisi dei carichi e della produzione di energia elettrica a bordo – Cenni alla propulsione elettrica – Sistemi e schemi di distribuzione – Schemi tipici - Applicazione delle metodologie di calcolo degli impianti elettrici: calcolo delle c.d.t., delle correnti di corto circuito, coordinamento delle protezioni e verifica selettività - Specifiche componenti e apparecchiature.

Impianti elettrici a bordo di treni: Generalità – Servizi ausiliari – Sistemi di alimentazione dei servizi ausiliari – Schemi tipici – Convertitori statici per servizi ausiliari – Sistemi per la diagnostica a bordo dei rotabili.

Impianti elettrici a bordo di autoveicoli stradali: Carichi di bordo - Flussi energetici e specifiche dei componenti di architetture tradizionali – Architetture innovative.

Propedeuticità: Sistemi elettrici per l'energia, Azionamenti elettrici.

Prerequisiti: Nessuno.

Modalità di accertamento del profitto: Colloquio orale.

Insegnamento: Laboratorio di Elettronica di potenza

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Laboratorio di Elettronica di potenza	ING-IND/32	b	I	3
Modalità di insegnamento: Lezione	Ore impegno docente: 13	Ore impegno studente: 26		
Modalità di insegnamento: Esercitazione	Ore impegno docente: 7	Ore impegno studente: 14		
Modalità di insegnamento: Laboratorio	Ore impegno docente: 16	Ore impegno studente: 32		
Modalità di insegnamento: Prova intracorso	Ore impegno docente: 3	Ore impegno studente: 3		

Obiettivi formativi:

Contribuire, attraverso esercitazioni numerico/simulative e sperimentali in laboratorio, alla comprensione del funzionamento e delle modalità di impiego dei principali apparati di conversione statica dell'energia elettrica.

Contenuti:

Parametri di prestazione dei convertitori ac-dc, dc-dc e dc-ac; collaudo di convertitori ac-dc, dc-dc e dc-ac. Esercitazioni numerico/simulative e sperimentali in laboratorio su raddrizzatori monofase e trifase, chopper e inverter in differenti configurazioni circuitali.

Propedeuticità: Fondamenti di elettronica di potenza.

Prerequisiti: Nessuno.

Modalità di accertamento del profitto: Prova di laboratorio e prova orale.

Insegnamento: Laboratorio di Impianti elettrici

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Laboratorio di Impianti elettrici	ING-IND/33	b	I	3
Modalità di insegnamento: Lezione	Ore impegno docente: 9	Ore impegno studente: 27		
Modalità di insegnamento: Esercitazione	Ore impegno docente: 12	Ore impegno studente: 24		
Modalità di insegnamento: Laboratorio	Ore impegno docente: 12	Ore impegno studente: 24		

Obiettivi formativi:

Il modulo ha come obiettivo formativo di consentire allo studente di implementare in ambiente MATLAB i principali algoritmi per la risoluzione dei modelli matematici dei sistemi elettrici.

Contenuti:

Algoritmi per la soluzione di sistemi di equazioni non lineari. Algoritmi per la soluzione di sistemi di equazioni differenziali non lineari. Algoritmi per la soluzione di sistemi di equazioni algebrico-differenziali. Metodi numerici per i sistemi elettrici per l'energia. Codice di calcolo in ambiente Matlab per l'analisi dei sistemi elettrici per l'energia in condizioni di funzionamento a regime sinusoidale permanente. Codice di calcolo delle correnti di corto circuito in ambiente Matlab. Codice di calcolo della stabilità elettromeccanica in ambiente Matlab.

Propedeuticità: Progettazione di impianti elettrici in media e bassa tensione.

Prerequisiti: Elementi di informatica, Sistemi elettrici per l'energia.

Modalità di accertamento del profitto: Prova orale.

Insegnamento: Metodi matematici per l'ingegneria industriale

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Metodi matematici per l'ingegneria industriale	MAT/05,07	a	I	6

Modalità di insegnamento: Lezione	Ore impegno docente: 30	Ore impegno studente: 106
Modalità di insegnamento: Esercitazione	Ore impegno docente: 22	Ore impegno studente: 44

Obiettivi formativi:

Acquisizione e consapevolezza operativa dei concetti e dei risultati fondamentali, in vista delle principali applicazioni, relativi alle equazioni differenziali ordinarie e alle derivate parziali, all'analisi complessa e all'analisi di Fourier.

Contenuti:

Richiami sulla sviluppabilità in serie di Taylor di funzioni reali. Funzioni elementari nel campo complesso, serie di potenze. Funzioni analitiche. Integrali di linea di funzioni di variabile complessa. Sviluppo in serie di Taylor. Sviluppo in serie di Laurent. Residui e applicazioni al calcolo di integrali. Cenni sulla misura e sull'integrazione secondo Lebesgue. Serie di Fourier; convergenza puntuale e convergenza in media quadratica. Trasformata di Fourier: definizione e proprietà formali; antitrasformata. Trasformata di Laplace: definizione; esempi notevoli di trasformata di Laplace; proprietà formali; antitrasformata; uso della trasformata di Laplace nei modelli differenziali lineari. Problemi ai limiti per equazioni differenziali omogenee e non. Equazioni differenziali e sistemi di equazioni differenziali ordinarie. Equazioni differenziali alle derivate parziali: equazioni differenziali alle derivate parziali del primo ordine e il metodo delle caratteristiche; equazione di Laplace; equazione del calore; equazioni delle onde. Elementi di Calcolo delle Variazioni.

Propedeuticità: Analisi matematica II.

Prerequisiti: Nessuno.

Modalità di accertamento del profitto: Prove applicative in itinere e/o prova finale; colloquio.

Insegnamento: Misure e collaudo su macchine e impianti

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Misure e collaudo su macchine e impianti	ING-INF/07	b	II	6

Modalità di insegnamento: Lezione	Ore impegno docente: 30	Ore impegno studente: 90
Modalità di insegnamento: Esercitazione	Ore impegno docente: 15	Ore impegno studente: 30
Modalità di insegnamento: Laboratorio	Ore impegno docente: 15	Ore impegno studente: 30

Obiettivi formativi:

Mettere l'allievo in grado di effettuare prove e collaudi su macchine ed impianti elettrici, anche mediante utilizzo di moderna strumentazione automatica.

Contenuti:

Prove di interesse generale sulle macchine elettriche: modalità per la determinazione delle temperature, della resistenza degli avvolgimenti e delle perdite; prove su azionamenti; collaudo di motori elettrici; collaudo di trasformatori; norme specifiche. Collaudo degli impianti elettrici: procedure tecniche e amministrative; norme tecniche e norme di legge; esami a vista; prove di verifica; prove su quadri elettrici; verifica TA e TV. Prove ad alta tensione: caratteristiche di un laboratorio per prove di alta tensione, generatori di impulsi; generatori di elevate tensioni alternate; generatore di elevate tensioni continue; partitori di tensione; misuratori per il rilievo delle scariche parziali; prove di corto circuito reali e sintetiche; prove su dispositivi di interruzione in b.t.. Elementi sulle modalità di prove su dispositivi e apparati per la compatibilità elettromagnetica.

Propedeuticità: Misure elettriche.

Prerequisiti: Nessuno.

Modalità di accertamento del profitto: Prova orale, prova pratica di laboratorio.

Insegnamento: Misure elettriche

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Misure elettriche	ING-INF/07	b	I	6

Modalità di insegnamento: Lezione **Ore impegno docente:** 34 **Ore impegno studente:** 100

Modalità di insegnamento: Laboratorio **Ore impegno docente:** 18 **Ore impegno studente:** 50

Obiettivi formativi:

Approfondire i principi di funzionamento della moderna strumentazione elettronica di misura. Mettere l'allievo in condizione di gestire stazioni automatiche di misura ed effettuare misure di potenza, energia e dei parametri d'interesse nei sistemi elettrici funzionanti in regime sinusoidale o deformato.

Contenuti:

Collegamenti tra sistemi sotto misura e strumenti di misura. Principali meccanismi che originano disturbi nelle misure elettroniche. Stadi d'ingresso della strumentazione elettronica di misura single-ended, double-ended e con schermo di guardia. Metodi e strumenti per la misura delle grandezze elettriche. Sonde a effetto Hall, amplificatori d'isolamento, sonde compensate. Strumentazione elettronica di tipo numerico. Tecniche di campionamento e gestione della memoria nei sistemi di acquisizione dati. Elaborazione numerica dei segnali di misura. Teorema del campionamento. Metodi e strumenti per l'analisi dei segnali nel dominio della frequenza. FFT analyzer, errori nelle stime dei parametri nel dominio della frequenza dovuti al fenomeno della dispersione spettrale. Interfacciamento tra sistemi di misura e moduli di controllo. Gestione automatica di processi di misura. Lo standard 488. L'ambiente integrato Labview per la programmazione dell'unità di controllo.

Laboratorio: Gestione remota della strumentazione elettronica di base. Realizzazione di una stazione automatica per l'acquisizione di grandezze elettriche e la valutazione di indici tramite tecniche di elaborazione numerica dei segnali acquisiti.

Propedeuticità: Fondamenti della misurazione I.

Prerequisiti: Nessuno.

Modalità di accertamento del profitto: Colloquio orale e prova pratica.

Insegnamento: Misure per la compatibilità elettromagnetica

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Misure per la compatibilità elettromagnetica	ING-INF/07	b	II	6

Modalità di insegnamento: Lezione **Ore impegno docente:** 30 **Ore impegno studente:** 90

Modalità di insegnamento: Laboratorio **Ore impegno docente:** 30 **Ore impegno studente:** 60

Obiettivi formativi:

Ci si propone di fornire allo studente gli strumenti teorici e tecnici per la comprensione delle problematiche connesse all'esecuzione delle prove di compatibilità elettromagnetica, mediante lo studio della strumentazione, dei setup e delle procedure e l'esecuzione di test di compatibilità, nel laboratorio di compatibilità elettromagnetica. Al termine del corso lo studente sarà in grado di scegliere la strumentazione più adatta all'esecuzione delle prove, eseguirle e valutare correttamente l'incertezza dei risultati delle misurazioni.

Contenuti:

La direttiva per la Compatibilità elettromagnetica; Enti preposti alla verifica dei requisiti di compatibilità; Enti di Normazione e Norme armonizzate. Il decibel. Ricevitore di picco, quasi-picco, media e valore efficace; Rete per la Stabilizzazione di Impedenza (LISN); Reti di Accoppiamento/disaccoppiamento (CDN); Sonde di Corrente e di Tensione; Disturbi di modo differenziale e modo comune. Norme di immunità e emissione, radiata e condotta. La normativa di esposizione ai campi elettromagnetici ambientali; Sonde, Antenne per la misurazione di campi elettromagnetici. Esecuzione di prove di conformità presso il laboratorio di Compatibilità elettromagnetica; esecuzione di misurazioni di campo elettromagnetico ambientale.

Propedeuticità: Fondamenti della misurazione I, Campi elettromagnetici e propagazione.

Prerequisiti: Nessuno.

Modalità di accertamento del profitto: Prova orale.

Insegnamento: Misure per la qualità

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Misure per la qualità	ING-INF/07	b	II	6
Modalità di insegnamento: Lezione	Ore impegno docente: 40	Ore impegno studente: 120		
Modalità di insegnamento: Esercitazione	Ore impegno docente: 5	Ore impegno studente: 12,5		
Modalità di insegnamento: Laboratorio	Ore impegno docente: 5	Ore impegno studente: 12,5		
Modalità di insegnamento: Seminario	Ore impegno docente: 5	Ore impegno studente: 5		

Obiettivi formativi:

Capacità di acquisire ed elaborare dati per studio, gestione e ottimizzazione dei processi sia industriali sia di erogazione di servizi.

Contenuti:

Normativa nazionale e comunitaria. Strumenti per la qualità. Indicatori. Carte di controllo: Test delle ipotesi: Analisi della media e della varianza. Collaudi su base statistica. Progetto degli esperimenti. Ottimizzazione parametrica sperimentale.

Propedeuticità: Misure elettriche.

Prerequisiti: Nessuno.

Modalità di accertamento del profitto: Valutazione dell'elaborato svolto in esercitazione e prova scritta di soluzione di problemi.

Insegnamento: Modelli numerici per i campi

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Modelli numerici per i campi	ING-IND/31	b	II	6
Modalità di insegnamento: Lezione	Ore impegno docente: 36	Ore impegno studente: 108		
Modalità di insegnamento: Esercitazione	Ore impegno docente: 12	Ore impegno studente: 20		
Modalità di insegnamento: Laboratorio	Ore impegno docente: 12	Ore impegno studente: 22		

Obiettivi formativi:

L'obiettivo del corso è duplice: fare conoscere i principi del calcolo scientifico; fornire gli strumenti per la risoluzione con il calcolatore di alcune classi di problemi di campo. Nel laboratorio numerico è utilizzato il linguaggio di programmazione MATLAB®.

Contenuti:

Soluzione di sistemi di equazioni algebriche lineari. Metodi diretti: sistemi triangolari, metodo di Gauss, la decomposizione LU, il problema del condizionamento, analisi degli errori. Metodi iterativi: metodi di Jacobi, Gauss-Seidel e rilassamento, il problema della convergenza. Metodi del gradiente, metodo del gradiente coniugato, preconditionamento. Metodi rapidi. Decomposizione SVD. Soluzione di sistemi di equazioni algebriche non lineari: iterazione di punto fisso, metodo di Newton-Raphson, convergenza. Soluzione di sistemi di equazioni differenziali ordinarie: il metodo di Eulero, il metodo di Crank-Nicolson, metodi espliciti e impliciti; consistenza, stabilità e convergenza. Formulazioni differenziali di alcune classi di problemi di campo. Il problema delle condizioni al contorno. Metodo delle differenze finite. Formulazioni deboli. Metodo dei residui pesati: metodo della collocazione e metodo di Galerkin. Approssimazione in uno spazio a dimensione finita. Metodo degli elementi finiti. Formulazioni integrali di alcune classi di problemi di campo. Laboratorio numerico.

Propedeuticità: Metodi matematici per l'ingegneria industriale, Elettrotecnica.

Prerequisiti: Nessuno.

Modalità di accertamento del profitto: Prova orale con discussione di un problema risolto numericamente al calcolatore.

Insegnamento: Modellistica elettromagnetica dei materiali

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Modellistica elettromagnetica dei materiali	ING-IND/31	b	II	6
Modalità di insegnamento: Lezione	Ore impegno docente: 30	Ore impegno studente: 90		
Modalità di insegnamento: Esercitazione	Ore impegno docente: 15	Ore impegno studente: 30		
Modalità di insegnamento: Laboratorio	Ore impegno docente: 21	Ore impegno studente: 21		
Modalità di insegnamento: Seminario	Ore impegno docente: 6	Ore impegno studente: 9		

Obiettivi formativi:

Il corso si propone di analizzare il comportamento elettrico e magnetico dei materiali in relazione a campi di applicazioni tradizionali e avanzate e di definire le problematiche connesse con la progettazione dei componenti.

Contenuti:

Campi elettrici e magnetici in mezzi materiali. Formulazione delle equazioni di campo in termini di potenziali. Calcolo dei campi per via analitica e numerica. Determinazione delle forze elettromagnetiche in mezzi materiali. Esercitazioni numeriche. Materiali conduttori. Modelli di conduzione. Progetto di resistori. Esercitazioni in laboratorio. Materiali dielettrici. Polarizzazione. Dielettrici gassosi, liquidi, solidi.

Processi di scarica nei dielettrici. Invecchiamento dei dielettrici. Piezoelettricità e ferroelettricità. Sensori. Esercitazioni in laboratorio.

Materiali magnetici. Magnetizzazione. Materiali ferromagnetici. Sensori magnetici. Esercitazioni in laboratorio.

Propedeuticità: Elettrotecnica.

Prerequisiti: Nessuno.

Modalità di accertamento del profitto: Prova orale.

Insegnamento: Nozioni giuridiche fondamentali

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Nozioni giuridiche fondamentali	IUS/01	c	II	6

Modalità di insegnamento: Lezione **Ore impegno docente:** 60 **Ore impegno studente:** 150

Obiettivi formativi:

Il corso propone nozioni giuridiche di base e approfondimenti sulle problematiche giuridiche attinenti al settore elettrico, con un approccio operativo, al fine di fornire, in relazione ai casi concreti che possono presentarsi nella realtà professionale, gli strumenti tecnico-giuridici indispensabili per risolverli.

Contenuti:

Parte generale: Introduzione: l'ordinamento costituzionale; le fonti del diritto; soggetti, posizioni soggettive e tutela giurisdizionale.

I beni. La proprietà: contenuto ed estensione; modi di acquisto; limiti; immissioni; distanze tra costruzioni. Limiti nell'interesse pubblico: proprietà conformata e proprietà vincolata. L'espropriazione per pubblica utilità: procedimento e determinazione dell'indennità. Gli altri diritti reali: superficie; usufrutto; uso; abitazione; servitù. Comunione e condominio. Possesso ed effetti.

Obbligazioni e contratti (cenni). I contratti di particolare interesse per l'ingegnere: appalto, appalto pubblico e legge Merloni.

Il professionista tecnico. Competenze ed ordinamento professionale. Figure professionali specifiche. La responsabilità professionale. Società tra professionisti e contratto di engineering.

Parte speciale (diritto dell'energia): La gestione del settore elettrico. Dalla nazionalizzazione alla privatizzazione. L'autorità per l'energia elettrica ed il gas. elettrica. Il nuovo assetto del settore dopo il D.Lgs. n. 79/1999.

Energia elettrica, territorio ed ambiente: localizzazione degli impianti ed interrelazioni con la tutela ambientale e la pianificazione territoriale. La valutazione di impatto ambientale. Fonti rinnovabili, risparmio energetico e attuazione del Protocollo di Kyoto.

Elettrodotti. Inquinamento elettromagnetico. La servitù di elettrodotto.

Propedeuticità: Nessuna.

Prerequisiti: Nessuno.

Modalità di accertamento del profitto: Prova orale.

Insegnamento: Propulsione dei veicoli elettrici

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Propulsione dei veicoli elettrici	ING-IND/32	b	II	6
Modalità di insegnamento: Lezione	Ore impegno docente: 42	Ore impegno studente: 126		
Modalità di insegnamento: Esercitazione	Ore impegno docente: 4	Ore impegno studente: 8		
Modalità di insegnamento: Seminario	Ore impegno docente: 8	Ore impegno studente: 16		

Obiettivi formativi:

Acquisizione delle conoscenze fondamentali per scelta, dimensionamento e determinazione delle caratteristiche di funzionamento dei sistemi di propulsione dei veicoli su gomma per trasporto stradale e movimentazione industriale, e dei veicoli per trasporto ferroviario e a guida vincolata in genere.

Contenuti:

Cicli operativi e diagrammi di marcia. Definizione delle specifiche di dimensionamento degli azionamenti per trazione. Specificità dei motori e dei convertitori destinati alla trazione elettrica su ferro e su gomma. Azionamenti in continua (a eccitazione indipendente, serie, ad immagine serie) e in alternata asincroni e sincroni a elevata densità di potenza. Propulsione di sistemi di trasporto su rotaia: tram, treni metropolitani e a lunga percorrenza. Alimentazione da linea in continua o in alternata monofase a media tensione. Azionamenti polifase. Azionamenti con generazione a bordo. Azionamenti a potenza distribuita. Sistemi di avviamento, frenatura e controllo della velocità in catena chiusa. Coordinamento di azionamenti plurimotore. Utilizzazione di convertitori a più stadi e/o a più livelli. Trasformatore monofase di trazione, raddrizzatori attivi e sistemi di filtraggio. Sistemi di propulsione per veicoli destinati al trasporto pubblico su gomma (filobus). Azionamenti senza riduttori meccanici: motoruote. Propulsione dei veicoli stradali: azionamenti elettrici puri e ibridi (serie, parallelo e misti). Sistemi di accumulo dell'energia a bordo. Impiego di celle a combustibile. Gestione dei flussi energetici in presenza di batterie, celle a combustibile e supercondensatori. Generatori elettrici ad elevatissimo numero di giri. Cenni sugli azionamenti per veicoli a due ruote.

Propedeuticità: Dinamica delle macchine elettriche.

Prerequisiti: Azionamenti elettrici.

Modalità di accertamento del profitto: Prova orale.

Insegnamento: Regolazione e controllo dei sistemi energetici

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Regolazione e controllo dei sistemi energetici	ING-IND/08	c	I	3
Modalità di insegnamento: Lezione	Ore impegno docente: 22	Ore impegno studente: 59		
Modalità di insegnamento: Esercitazione	Ore impegno docente: 7	Ore impegno studente: 14		
Modalità di insegnamento: Seminario	Ore impegno docente: 2	Ore impegno studente: 2		

Obiettivi formativi:

Approfondire gli aspetti relativi alla gestione degli impianti per la produzione di energia elettrica e dei sistemi energetici, con l'obiettivo del perseguimento del massimo rendimento e delle minime emissioni nocive. Evidenziare i legami fra le caratteristiche operative delle singole macchine e quelle dell'intero sistema, pervenendo alla definizione di strategie ottimali di regolazione.

Contenuti:

Il programma del modulo, con riferimento agli impianti idroelettrici, con turbina a gas e ai motori a combustione interna, conterrà i seguenti argomenti principali:
Teoria della similitudine e numero di giri specifico. Descrizione e caratteristiche operative delle Turbine Pelton, Francis, Kaplan.
Modalità di regolazione degli impianti idroelettrici.
Analisi delle caratteristiche operative di compressori e turbine, mappe di funzionamento in parametri ridotti e corretti, modalità di regolazione di tali componenti.
Analisi dei domini operativi di turbine a gas monoalbero e bialbero.

Metodi di analisi e di simulazione termofluidodinamica di impianti con turbina a gas, finalizzati alla comprensione delle manovre di regolazione ottimali.

Analisi del funzionamento dei motori a combustione interna, ad accensione sia comandata sia per compressione, curve caratteristiche di coppia, potenza e consumo specifico di combustibile.

Cenni sulle problematiche di controllo elettronico di un motore a combustione interna.

Propedeuticità: Macchine.

Prerequisiti: Nessuno.

Modalità di accertamento del profitto: Prova orale.

Insegnamento: Scienza delle costruzioni II

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Scienza delle costruzioni II	ICAR/08	c	II	3

Modalità di insegnamento: Lezione **Ore impegno docente:** 10 **Ore impegno studente:** 25

Modalità di insegnamento: Esercitazione **Ore impegno docente:** 10 **Ore impegno studente:** 20

Modalità di insegnamento: Laboratorio **Ore impegno docente:** 10 **Ore impegno studente:** 30

Obiettivi formativi:

Il corso si propone di fornire agli allievi la base metodologica e gli strumenti operativi per il calcolo e la verifica automatica di strutture monodimensionali di frequente impiego nell'esercizio dell'attività professionale quali sostegni di linee elettriche aeree o capannoni industriali.

Contenuti:

Calcolo di strutture con il metodo degli spostamenti. Concetto di matrice di rigidezza e di carichi equivalenti: aste, travi, graticci. Uso di codici commerciali per il calcolo di travature reticolari piani e spaziali (tralicci), telai, graticci. Esame e discussione dei risultati ottenuti da programmi di calcolo automatico.

Calcolo di solai di tipo civile e industriale. Stabilità euleriana e metodo omega: esempi di proporzionamento di aste compresse.

Propedeuticità: Scienza delle costruzioni.

Prerequisiti: Nessuno.

Modalità di accertamento del profitto: Prova orale con discussione dell'elaborato progettuale sviluppato durante lo svolgimento del corso.

Insegnamento: Sistemi dinamici

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Sistemi dinamici	MAT/07	a	I	3

Modalità di insegnamento: Lezione **Ore impegno docente:** 20 **Ore impegno studente:** 60

Modalità di insegnamento: Esercitazione **Ore impegno docente:** 6 **Ore impegno studente:** 12

Modalità di insegnamento: Seminario **Ore impegno docente:** 3 **Ore impegno studente:** 3

Obiettivi formativi:

Presentare alcuni modelli tipici delle applicazioni di ingegneria. Introdurre ai metodi elementari della matematica applicata.

Contenuti:

Sistemi dinamici e metodi di calcolo simbolico. Modelli della dinamica dei corpi rigidi. Problemi di meccanica delle vibrazioni (oscillazioni forzate, risonanza, analisi modale). Teoremi e metodi di stabilità con analisi qualitativa di modelli non lineari.

Propedeuticità: Fisica matematica.

Prerequisiti: Nessuno.

Modalità di accertamento del profitto: Prova orale.

Insegnamento: Sistemi elettrici per i trasporti

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Sistemi elettrici per i trasporti	ING/IND33	b	II	6
Modalità di insegnamento: Lezione	Ore impegno docente: 36	Ore impegno studente: 110		
Modalità di insegnamento: Laboratorio	Ore impegno docente: 15	Ore impegno studente: 30		
Modalità di insegnamento: Seminario	Ore impegno docente: 6	Ore impegno studente: 10		

Obiettivi formativi:

Acquisizione di competenze generali e specialistiche sulla tecnica ferroviaria. Conoscenza del funzionamento e delle tecnologie di base del sistema di trasporto elettrificato. Principi di progettazione di sistema dei sistemi di trasporto ferroviari ed urbani elettrificati e a guida vincolata.

Contenuti:

Generalità sui sistemi di trasporto elettrificati. Sistemi di trasporto elettrificati ferroviari metropolitani: sistemi su ferro, sistemi su gomma, veicoli ibridi ed elettrici. Prestazioni di trasporto dei sistemi. Tipologie di reti ferroviarie, linee, stazioni.. Capacità di trasporto nei limiti di potenzialità dei mezzi di trazione, delle stazioni e delle linee. Ottimizzazione dei parametri di offerta. Prestazioni tecniche e di sicurezza dei sistemi ferroviari. Organizzazione ed economia dell'esercizio. Principi di tecnica di circolazione ferroviaria. Sistemi di controllo marcia treni.

Sottosistemi di alimentazione. Sistemi ferroviari in c.c.e.c.a.. Sistemi di alimentazione primaria. Reti primarie Linee dedicate A.T. delle F.S. e interconnessioni con reti ENEL. Sottostazioni (SSE). SSE ambulanti. SSE a recupero di energia. Apparecchi di conversione. Filtri. Impianti di terra. Linee di Contatto. Sistemi di sospensioni e caratteristiche costruttive. Circuiti di ritorno. Circuiti di terra e di protezione. Gruppi di sezionamento. Telecomando TE.

Il materiale rotabile. Composizioni. Prestazioni, caratteristiche tecniche e di servizio. Regolazione e controllo dei veicoli ferroviari. Impianti di bordo.

Sistemi di controllo e sicurezza della circolazione. Sistemi di controllo marcia treni. Controllo del traffico in stazione. Apparecchi centrali in tecnica elettromeccanica ed elettronica. Sistemi di distanziamento in linea. Sistemi di telecomunicazione terra-treno. Telecomando IS, sistemi di telecontrollo centralizzato del movimento treni. Telecomunicazioni di servizio.

Impianti generali di stazione e di linea

Affidabilità e sicurezza dei sistemi ferroviari. Analisi RAMS in progettazione ed esercizio. Diagnostica di bordo e di terra.

Propedeuticità: Elettrotecnica, Sistemi elettrici per l'energia.

Prerequisiti: Conversione statica dell'energia, Automatica.

Modalità di accertamento del profitto: Prova orale.

Insegnamento: Sistemi elettrici per l'energia

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Sistemi elettrici per l'energia	ING-IND/33	b	I	6
Modalità di insegnamento: Lezione	Ore impegno docente: 40	Ore impegno studente: 120		
Modalità di insegnamento: Esercitazione	Ore impegno docente: 15	Ore impegno studente: 30		

Obiettivi formativi:

Il corso si pone come obiettivo quello di fornire allo studente le conoscenze relative alle condizioni di funzionamento, normali e anormali, di un sistema elettrico ed alle metodologie di analisi di tali condizioni.

Contenuti:

Aspetti tecnologici e principi di funzionamento dei principali componenti degli impianti elettrici in alta tensione (Apparecchi di manovra, relé, sistemi di protezione contro le sovracorrenti e contro le sovratensioni). Definizioni relative alle condizioni di funzionamento normali ed anormali di un impianto elettrico in alta tensione. Parametri elettrici di una linea trifase: Resistenza, Induttanza, Capacità e Conduttanza. Analisi di un sistema elettrico in condizioni di funzionamento normale: modello matematico del sistema e sue applicazioni. Analisi di un sistema elettrico in condizioni di funzionamento anormale: a) modello matematico per il calcolo delle correnti di corto circuito e sue applicazioni; b) modello matematico per il calcolo delle sovratensioni e sue applicazioni; c) modello matematico per lo studio dei disturbi della qualità della tensione e sue applicazioni; d) modello matematico per lo studio dei transitori elettromeccanici e sue applicazioni.

Propedeuticità: Progettazione di impianti elettrici in media e bassa tensione.

Prerequisiti: Nessuno.

Modalità di accertamento del profitto: Prova orale.

Insegnamento: Teoria e tecnica degli isolamenti degli impianti elettrici

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Teoria e tecnica degli isolamenti degli impianti elettrici	ING-IND/33	b	II	3

Modalità di insegnamento: Lezione	Ore impegno docente: 15	Ore impegno studente: 45
Modalità di insegnamento: Esercitazione	Ore impegno docente: 10	Ore impegno studente: 20
Modalità di insegnamento: Laboratorio	Ore impegno docente: 10	Ore impegno studente: 10

Obiettivi formativi:

Fornire le conoscenze principali delle problematiche relative agli isolamenti degli impianti elettrici.

Contenuti:

Sovratensioni. Isolamenti degli impianti AT. Generatori ad impulso. Coordinamento degli isolamenti. Prove di isolamento.

Propedeuticità: Nessuna

Prerequisiti: Nessuno.

Modalità di accertamento del profitto: Colloquio finale.

Insegnamento: Trasmissione del calore

Modulo didattico	SSD	Af	Anno	CFU
Trasmissione del calore	ING-IND/10	c	II	6

Modalità di insegnamento: Lezione	Ore impegno docente: 32	Ore impegno studente: 96
Modalità di insegnamento: Esercitazione	Ore impegno docente: 25	Ore impegno studente: 50
Modalità di insegnamento: Laboratorio	Ore impegno docente: 4	Ore impegno studente: 4

Obiettivi formativi:

Il modulo fornisce le conoscenze fondamentali della trasmissione del calore evidenziando gli aspetti applicativi. L'allievo deve saper fare l'impostazione e la soluzione di semplici problemi di trasmissione del calore avviandosi all'utilizzo di strumenti e di metodi propri di una formazione tecnica a largo spettro.

Contenuti:

Conduzione: Regime stazionario monodimensionale, Generazione uniformemente distribuita. Soluzione di campi termici conduttivi multidimensionali stazionari con tecniche analitiche e numeriche. Regime transitorio monodimensionale.

Sistemi alettati: Generalità, rendimento, conduttanza globale per pareti alettate.

Convezione: Equazioni e gruppi adimensionali nella convezione forzata e naturale. Correlazioni tra gruppi adimensionali.

Irraggiamento: corpo nero; caratteristiche radiative e fattori di vista; scambio termico radiativo in cavità.

Scambiatori di calore: Tipi di scambiatori. Efficienza. Esperienze di laboratorio.

Propedeuticità: Fisica tecnica industriale.

Prerequisiti: Nessuno.

Modalità di accertamento del profitto: Colloquio finale.

Calendario delle attività didattiche nell'a.a. 2006/2007

I ANNO

1° semestre	Inizio 25 settembre 2006	Termine 16 Dicembre 2006
Esami	Inizio 18 Dicembre 2006	Termine 24 Febbraio 2007
2° semestre	Inizio 26 Febbraio 2007	Termine 09 Giugno 2007
Esami	Inizio 11 Giugno 2007	Termine 04 Agosto 2007
Esami	Inizio 20 Agosto 2007	Termine 29 Settembre 2007