UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO

DIPARTIMENTO	Ingegneria
ANNO ACCADEMICO OFFERTA	2021/2022
ANNO ACCADEMICO EROGAZIONE	2023/2024
CORSO DILAUREA	INGEGNERIA ELETTRONICA E DELLE TELECOMUNICAZIONI
INSEGNAMENTO	CAMPI ELETTROMAGNETICI
TIPO DI ATTIVITA'	B
AMBITO	50290-Ingegneria delle telecomunicazioni
CODICE INSEGNAMENTO	01751
SETTORI SCIENTIFICO-DISCIPLINARI	ING-INF/02
DOCENTE RESPONSABILE	CINO ALFONSO CARMELO Professore Associato Univ. di PALERMO
ALTRI DOCENTI	
CFU	9
NUMERO DI ORE RISERVATE ALLO STUDIO PERSONALE	153
NUMERO DI ORE RISERVATE ALLA DIDATTICA ASSISTITA	72
PROPEDEUTICITA'	
MUTUAZIONI	
ANNO DI CORSO	3
PERIODO DELLE LEZIONI	1° semestre
MODALITA' DI FREQUENZA	Facoltativa
TIPO DI VALUTAZIONE	Voto in trentesimi
ORARIO DI RICEVIMENTO DEGLI STUDENTI	**CINO ALFONSO CARMELO** Giovedì 11:30 13:30 Ufficio del docente (Ed. 9, III Piano) o canale del corso "Campi Elettromagnetici" su Teams

DOCENTE: Prof. ALFONSO CARMELO CINO

PREREQUISITI	Elettrostatica e magnetostatica. Metodi di analisi circuitale tipici dell'elettrotecnica, in particolare metodo dei fasori/procedura di Steinmetz. Serie e trasformata di Fourier.
RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI	Conoscenza e capacita' di comprensione Lo studente al termine del corso avra' conoscenza della teoria delle onde elettromagnetiche, intesa sia come ambito fenomenologico, sia come strumento di analisi di problematiche ingegneristiche. In particolare lo studente sara' in grado di comprendere, anche in una prospettiva storicizzata, le implicazioni delle equazioni di Maxwell in forma integrale e differenziale. Queste ultime saranno applicate allo studio delle linee di trasmissione, della propagazione per onde piane e della propagazione guidata in strutture metalliche (con cenni alle dielettriche). Per il raggiungimento di questo obiettivo il corso comprende: lezioni frontali; analisi e discussione di specifici contesti applicativi. Per la verifica di questo obiettivo e' prevista la discussione di argomenti del programma nell'esame orale. Capacita' di applicare conoscenza e comprensione Lo studente sara' in grado di utilizzare strumenti analitici e software per costruire modelli semplificati per rappresentare e quantificare problemi/applicazioni caratterizzati dalla presenza di onde elettromagnetiche, con specifico riferimento al contesto circuitale integrato con linee di trasmissione e guide d'onda. Per il raggiungimento di questo obiettivo il corso comprende: esercitazioni di modellazione e analisi comparativa circuitale/elettromagnetica; esercitazioni di progettazione. Per la verifica di questo obiettivo l'esame comprende una verifica progettuale scritta. Autonomia di giudizio Lo studente sara' in grado di comprendere le differenze e le affinita' fra "l'approccio circuitale" a parametri concentrati tipico dell'elettrotecnica e quello basato sull'utilizzazione di campi e onde in settori specifici dell'elettronica e delle telecomunicazioni. In particolare, sara' in grado di individuare i modelli piu' appropriati da utilizzare per i blocchi funzionali di un sistema complesso (p.es., generatore - linea di trasmissione - antenna). Per il raggiungimento di questo obiettivo il corso comprende: comparazione sistematica fra il punto di vista circuitale e quello elettromagnetico. La verifica di questo obiettivo viene effettuata attraverso l'esame orale. Abilita' comunicative Lo studente acquisira' la capacita' di descrivere e sostenere conversazioni sui modelli fisico-matematici per l'analisi di applicazioni basate sulla propagazione di onde elettromagnetiche, individuando correttamente le grandezze fisiche rilevanti, e adoperando la terminologia specifica. Per il raggiungimento di questo obiettivo il corso comprende: esercitazioni di gruppo e discussioni sui software di progettazione. La verifica di questo obiettivo viene effettuata sia attraverso la prova scritta sia con la discussione durante l'esame orale. Capacita' d'apprendimento Lo studente avra' appreso, ampliando tecniche apparentemente gia' consolidate nella prospettiva della propagazione di onde, la molteplicita' di punti di vista associati all'idea di circuito e di modelli circuitali utili per la progettazione, e questo gli consentira' di proseguire gli studi ingegneristici con migliorata maturita. Per il raggiungimento di questo obiettivo il corso comprende: lezioni frontali; analisi e discussione di temi progettuali e multidisciplinari. Per la verifica di questo obiettivo e' prevista la discussione di argomenti del programma nell'esame orale.
VALUTAZIONE DELL'APPRENDIMENTO	Prova Scritta + Prova Orale La prova scritta, della durata di un'ora, comprende: 1) una prima parte di analisi di un circuito elettrico lineare comprendente linee di trasmissione; 2) una seconda parte di progettazione, che comporta la modifica del circuito analizzato inizialmente e il confronto di taluni parametri prestazionali. La valutazione avviene in trentesimi, e contribuisce al voto finale con peso di circa un terzo. La corretta esecuzione almeno della prima parte e' requisito per l'ammissione alla prova orale, con voto nell'intervallo 18-24. La corretta esecuzione anche della parte progettuale corrisponde a un voto nell'intervallo 25-30. Viene valutata sia l'appropriatezza dei metodi sia la correttezza dei risultati numerici. La prova orale comincia con una discussione della prova scritta e si sviluppa con una serie di quesiti volti ad accertare il possesso delle competenze e delle conoscenze disciplinari previste dal corso; la valutazione viene espressa in trentesimi con un peso di circa due terzi sul voto finale. I quesiti tenderanno a verificare a) le conoscenze acquisiste sui modelli elettromagnetici e sui loro limiti; b) le capacita' di applicare i modelli in contesti tecnico-applicativi; c) il possesso di un'adeguata capacita' espositiva. Piu' nel dettaglio,

	a) Per quanto attiene alla verifica delle conoscenze, verra' richiesta la capacita' di stabilire connessioni tra i contenuti (teorie fisiche, modelli matematici, strumenti di calcolo e progetto, ecc.) oggetto del corso. La valutazione minima corrisponde alla preponderanza dei soli aspetti di calcolo e progetto, la valutazione massima alla integrazione di questi ultimi con gli aspetti fisico-matematici. b) Per quanto attiene alla verifica di capacita' elaborative, verra' considerata la capacita' di giustificare, analizzare criticamente e modificare le scelte effettuate nella prova scritta. La valutazione minima corrisponde alla mera capacita' di rispondere a richieste di chiarimento su singoli aspetti dell'analisi/ progetto. La valutazione massima si ottiene mostrando padronanza nella capacita' di tradurre modifiche nel sistema considerato in nuove soluzioni progettuali appropriate. c) Per quanto attiene alla verifica delle capacita' espositive, si ha una valutazione minima nel caso in cui l'esaminando dimostri si' una proprieta' di linguaggio adeguata al contesto tecnico-scientifico di riferimento ma questa non sia sufficientemente articolata, mentre la valutazione massima potra' essere conseguita da chi dimostri piena padronanza del linguaggio settoriale. Griglia di valutazione di riferimento: ECCELLENTE (30 - 30 e lode): lo studente dimostra una eccellente conoscenza e padronanza dei contenuti del corso, eccellente capacità analitica, lo studente è in grado di applicare le conoscenze per risolvere i problemi proposti. La lode è riservata solo agli studenti che si dimostrano particolarmente brillanti nell'esposizione oltre che nello svolgimento delle prove scritte durante il corso. OTTIMO (28 - 29): lo studente dimostra ottima padronanza degli argomenti, piena proprietà di linguaggio, capacità analitico-sintetica ed in grado di applicare le conoscenze per risolvere i problemi proposti. BUONO (26 - 27): lo studente dimostra una buona padronanza degli argomenti e buone capacità elaborative. Lo studente è in grado di applicare le conoscenze per risolvere i problemi proposti, sebbene con qualche incertezza. Le capacità espositive possono non essere ottimali. DISCRETO (24 - 25): lo studente dimostra una discreta conoscenza di base dei principali argomenti, una discreta proprietà di linguaggio e una limitata capacità di applicare autonomamente le conoscenze alla soluzione dei problemi proposti. SODDISFACENTE (21 - 23): lo studente non ha piena padronanza degli argomenti principali dell'insegnamento ma ne possiede le conoscenze, ha una soddisfacente proprietà linguaggio e una scarsa capacità di applicare autonomamente le conoscenze acquisite. SUFFICIENTE (18 - 20): lo studente dimostra una minima conoscenza degli argomenti principali dell'insegnamento e del linguaggio tecnico, scarsissima o nulla capacità di applicare autonomamente le conoscenze acquisite. Si evidenziano parecchie lacune nella comprensione del soggetto trattato. INSUFFICIENTE (0 - 17: Non possiede una conoscenza accettabile dei contenuti degli argomenti trattati nell'insegnamento e/o non ha studiato deliberatamente alcuni argomenti della materia.
OBIETTIVI FORMATIVI	Il corso di campi elettromagnetici e' un corso di base sull'elettromagnetismo applicato e pone al centro del processo formativo –sia come ambito fenomenologico, sia come strumento di analisi e rappresentazione– la teoria delle onde elettromagnetiche. I concetti fondamentali di elettrostatica e magnetostatica, gia' presentati nei corsi di fisica, saranno ripresi e sviluppati per giungere alla presentazione, anche in una prospettiva storicizzata, delle equazioni di Maxwell in forma integrale e differenziale. La teoria dell'elettromagnetismo sara' quindi applicata allo studio delle linee di trasmissione e della propagazione per onde piane e guidata in strutture metalliche (con cenni alle dielettriche). Dal punto di vista progettuale, verra' effettuata una comparazione sistematica fra l'approccio circuitale e quello elettromagnetico per evidenziarne affinita, specificita' e limiti.
ORGANIZZAZIONE DELLA DIDATTICA	Lezioni frontali, Esercitazioni in aula, Calcoli e Simulazioni al computer.
TESTI CONSIGLIATI	TESTI CONSIGLIATI Principali: 1) Maurizio Zoboli, Lezioni di campi elettromagnetici. Pitagora Editrice Bologna (2005) ISBN: 8837115369, oppure la successiva edizione, Campi e onde elettromagnetici. Societa' editrice Esculapio (2011) ISBN: 8874884303 (quest'ultimo disponibile come e-book presso UniPa Discovery Service); 2) Luca Vincetti, Esercizi di campi elettromagnetici. Pitagora Editrice Bologna (2005) ISBN: 8837115393; 3) Michele Midrio, Esercizi di campi elettromagnetici. Edizioni Libreriauniversitaria.it (2022) ISBN: 9788833594453; 4) Sophocles J. Orfanidis, Electromagnetic Waves and Antennas, libro gratuito in inglese disponibile su www.ece.rutgers.edu/~orfanidi/ewa/.

	Per consultazione/approfondimenti (reference books): Fawwaz T. Ulaby, Umberto Ravaioli: Fundamentals of Applied Electromagnetics, Global Edition, Pearson (2015) ISBN: 1292082445; [vanno bene anche le traduzioni italiane dello stesso testo, come Fawwaz T. Ulaby, Fondamenti di campi elettromagnetici, McGraw-Hill, (2006), ISBN: 8838662657; oppure Fawwaz T. Ulaby, Umberto Ravaioli, Fondamenti di campi elettromagnetici, Pearson (2021) ISBN: 8891906611]; Giuseppe Conciauro - Luca Perregrini, Fondamenti di onde elettromagnetiche. Medea (2015), ISBN: 8866930741; Simon Ramo - John R. Whinnery - Theodore Van Duzer, Campi e onde nell'elettronica per le comunicazioni. Franco Angeli (2006), ISBN: 8820473852; Michael B. Steer, Microwave and RF Design, Vol. 2 Transmission Lines. NC State University (2019), ISBN: 9781469656939, e-book gratuito disponibile su https://repository.lib.ncsu.edu/handle/1840.20/36776; Altre dispense e SW libero reperibili in Internet (su indicazione del docente).

PROGRAMMA

ORE	Lezioni
4	Confronto "Elettrodinamica classica" e "Campi elettromagnetici". Richiami storici, concetto di campo, operatori differenziali e sistemi di coordinate.
4	Teoremi integrali e di decomposizione dei campi vettoriali. Aspetti avanzati o computazionali.
4	Equazioni di Maxwell generalizzate. Condizioni di continuita'. Trasformate e vettori complessi.
4	Polarizzazione del campo elettromagnetico. Equazioni di Maxwell nel dominio del numero d'onda e onde piane.
4	Relazioni costitutive dei mezzi materiali. Nonlinearita', anisotropia, stazionarieta', causalita'. Relazioni costitutive nel dominio di omega. Complementi analitici sulla rappresentazione dei campi vettoriali.
4	Equazioni delle onde e metodi risolutivi per il vuoto e i mezzi materiali.
4	Onda stazionaria. Teorema di Poynting. Esistenza e unicita' delle soluzioni delle equazioni di Maxwell. Teoremi generali per il campo elettromagnetico. Condizione di radiazione di Sommerfeld. Relazione di dispersione.
6	Guide d'onda e linee di trasmissione. Classificazione, equazioni di Maxwell per i componenti di campo trasversi e longitudinali. Classificazione dei modi supportati.
6	Equazioni del telegrafo. Linee con perdite. Equazione del telefono. Modelli circuitali a parametri concentrati.
4	Parametri delle linee di trasmissione in regime armonico. Relazione di Moebius e carta di Smith.
4	Guide d'onda, autovalori, espansione modale, dispersione. Guide metalliche.
4	Onde piane 3D e metodi matematici specifici. Onde piane uniformi ed evanescenti. Legge di Snell e cenni alle equazioni di Fresnel.
3	Introduzione ai potenziali elettrodinamici e al campo di radiazione.

ORE	Esercitazioni
26	Esercitazioni sull'applicazione a casi di interesse pratico dei metodi generali illustrati a lezione. In particolare: a) Calcolo vettoriale; b) Operatori differenziali nei sistemi di coordinate cartesiane, cilindriche e sferiche; c) Calcolo con i vettori complessi rappresentativi; d) Risoluzione dell'equazione di D'Alembert unidimensionale; e) Rappresentazione dello stato di polarizzazione; f) Parametri caratteristici di dielettrici e conduttori; g) Calcolo del vettore di Poynting per alcuni casi di interesse; h) Approfondimenti sulla carta di Smith e suo uso (trasformazioni, adattamenti,…) sia con approccio grafico tradizionale, sia computerizzato; i) Analisi dettagliata della linea di trasmissione metallica planare indefinita e delle guide metalliche rettangolare e circolare. Per le esercitazioni di analisi/progettazione su linee di trasmissione e circuiti con linee di trasmissione, verra' adoperato sia SW specializzato sia di uso generale. In particolare verranno usati i seguenti programmi, liberamente disponibili per uso didattico: GeoGebra, TRLINE, TLDetails, TXLine, AppCAD, SimSmith.