

<b>FACOLTÀ</b>	<b>INGEGNERIA</b>
<b>ANNO ACCADEMICO</b>	<b>2012-2013</b>
<b>CORSO DI LAUREA MAGISTRALE</b>	<b>INGEGNERIA ELETTRICA</b>
<b>INSEGNAMENTO</b>	<b>MATERIALI E MODELLI NUMERICI PER L'INGEGNERIA ELETTRICA</b>
<b>TIPO DI ATTIVITÀ</b>	Caratterizzante
<b>AMBITO DISCIPLINARE</b>	Ingegneria Elettrica
<b>CODICE INSEGNAMENTO</b>	13509
<b>ARTICOLAZIONE IN MODULI</b>	SI
<b>NUMERO MODULI</b>	3
<b>SETTORE SCIENTIFICO DISCIPLINARI</b>	ING-IND/31
<b>DOCENTE RESPONSABILE (parte 1)</b>	GUIDO ALA Professore Associato confermato Università degli Studi di Palermo - DIEETCAM <a href="http://www.dieet.unipa.it/ala">http://www.dieet.unipa.it/ala</a>
<b>DOCENTE COINVOLTO (parte 2)</b>	FABIO VIOLA Ricercatore confermato Università degli Studi di Palermo - DIEETCAM
<b>DOCENTE COINVOLTO (parte 3)</b>	PIETRO ROMANO Ricercatore confermato Università degli Studi di Palermo - DIEETCAM
<b>CFU</b>	9
<b>NUMERO DI ORE RISERVATE ALLO STUDIO PERSONALE</b>	130
<b>NUMERO DI ORE RISERVATE ALLE ATTIVITÀ DIDATTICHE ASSISTITE</b>	95
<b>PROPEDEUTICITÀ</b>	Nessuna, ma si consiglia di aver già acquisito competenze di "Analisi numerica, programmazione e fondamenti di "
<b>ANNO DI CORSO</b>	Primo
<b>SEDE DI SVOLGIMENTO DELLE LEZIONI</b>	Consultare il sito <a href="http://portale.unipa.it/Ingegneria/">http://portale.unipa.it/Ingegneria/</a>
<b>ORGANIZZAZIONE DELLA DIDATTICA</b>	Lezioni frontali. Esercitazioni in aula
<b>MODALITÀ DI FREQUENZA</b>	Facoltativa, ma consigliata
<b>METODI DI VALUTAZIONE</b>	Prova orale
<b>TIPO DI VALUTAZIONE</b>	Voto in trentesimi
<b>PERIODO DELLE LEZIONI</b>	Consultare il sito <a href="http://portale.unipa.it/Ingegneria/">http://portale.unipa.it/Ingegneria/</a>
<b>CALENDARIO DELLE ATTIVITÀ DIDATTICHE</b>	Consultare il sito <a href="http://portale.unipa.it/Ingegneria/">http://portale.unipa.it/Ingegneria/</a>
<b>ORARIO DI RICEVIMENTO DEGLI STUDENTI</b>	Tutti i giorni previo appuntamento telefonico o per e-mail: <a href="mailto:guido.ala@unipa.it">guido.ala@unipa.it</a> , <a href="mailto:pietro.romano@unipa.it">pietro.romano@unipa.it</a> , <a href="mailto:fabio.viola@unipa.it">fabio.viola@unipa.it</a>

#### **RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI**

##### **Conoscenza e capacità di comprensione (*knowledge and understanding*):**

Al termine del Corso, lo studente avrà conoscenza di modelli analitici differenziali ed integrali dell'elettromagnetismo e delle tecniche numeriche di più comune impiego orientate all'analisi del campo elettromagnetico in regime sinusoidale ed in transitorio.

##### **Conoscenza e capacità di comprensione applicate (*applying knowledge and understanding*):**

Al termine del corso, lo studente sarà capace di eseguire l'analisi computazionale della distribuzione del campo

elettromagnetico in sistemi lineari, in regime stazionario e dinamico, anche in presenza di discontinuità. Tale analisi è finalizzata all'esame delle prestazioni e all'ottimizzazione progettuale di dispositivi (macchine elettriche, elettromagneti, antenne) di impiego nel settore dell'ingegneria elettrica. Inoltre lo studente sarà a conoscenza delle tecniche di misura utili per la stima di vita dei materiali isolanti e dei componenti che li impiegano, ai fini del loro corretto esercizio anche attraverso una idonea manutenzione programmata.

**Autonomia di giudizio (*making judgements*)**

Lo studente consegnerà autonomia di scelta per esercitare la preferenza nell'ambito dei modelli analitici esatti o approssimati e dei metodi numerici utili per l'analisi elettromagnetica.

**Abilità comunicative (*communication skills*)**

Lo studente sarà in grado di descrivere le motivazioni che conducono alla scelta di un modello e le ipotesi che stanno alla base di tale scelta.

**Capacità di apprendere (*learning skills*)**

Lo studente avrà appreso i metodi analitici e numerici più utili per la formulazione dei codici di calcolo per l'analisi elettromagnetica e sarà in condizione di implementare tali codici anche per l'analisi di problemi non direttamente trattati durante i corsi universitari.

**OBIETTIVI FORMATIVI DEI MODULI**

Conoscenza e capacità di applicazione dei metodi analitici e computazionali più comuni per l'analisi dei sistemi elettromagnetici.

Conoscenza dei metodi per la valutazione dello stato dei materiali isolanti organici.

		<b>DENOMINAZIONE DEI MODULI: Materiali e Modelli numerici per l'Ingegneria Elettrica</b>
<b>ORE FRONTALI</b>		
<b>LEZIONI</b>	<b>ESERCITAZIONI/ LABORATORIO</b>	<b>ARGOMENTI</b>
6	0	Richiami sugli operatori differenziali del primo e del secondo ordine. Relazioni costitutive tra le diverse grandezze vettoriali. Formulazioni completa e ridotta delle equazioni di Maxwell nei diversi regimi di funzionamento. Proprietà dei vettori di campo in regime stazionario e quasi stazionario. Equazioni della divergenza dedotte da quelle dei rotori. Principi di conservazione della carica e di continuità della corrente totale. Vettore di Poynting. Teorema di Poynting. Equazioni delle onde dei vettori di campo nel dominio del tempo ed in regime sinusoidale. Equazioni di diffusione e di propagazione. Caratterizzazione generale dei campi vettoriali monocromatici. Fasori vettoriali. Polarizzazione, vettore di polarizzazione. Polarizzazione ellittica, circolare, lineare. Funzioni d'onda. Superfici equifase, fronte d'onda, vettore di propagazione. Lunghezza d'onda e velocità di propagazione. Scomposizione di un campo monocromatico attraverso campi polarizzati linearmente ed oscillanti in quadratura. Onde piane, cilindriche, sferiche. Potenza media attraverso il vettore di Poynting complesso. Caratterizzazione delle onde piane uniformi e non-uniformi. Trattazione generale del campo di onda piana uniforme in mezzo omogeneo, in regime sinusoidale. Costante di propagazione, impedenza intrinseca del mezzo. Flusso di potenza associato all'onda piana. Caso generale, buoni dielettrici, buoni conduttori..
2	0	Diffusione del campo elettromagnetico nel solido semindefinito: profondità di penetrazione, effetto pelle; impedenza interna; flusso di potenza. Equazioni generali delle onde dei campi elettrico e magnetico. Equazioni di diffusione e di propagazione. Diffusione del campo elettromagnetico nel conduttore cilindrico massiccio: determinazione dell'equazione di Bessel in regime sinusoidale, andamento della densità di corrente di conduzione con la frequenza. Espressione dell'impedenza interna; caso del conduttore ideale.
2	0	Equazioni delle onde dei potenziali ritardati, anche in mezzo con perdite. Gauge di Lorentz. Forma generale dei potenziali ritardati nel dominio del tempo e nel dominio della frequenza, espressi come integrali di cariche e correnti.
4	0	Introduzione alle antenne. Il dipolo elettrico elementare: impiego del potenziale vettore magnetico ritardato fasoriale per la determinazione delle

		<p>espressioni generali delle componenti del campo elettrico e del campo magnetico nello spazio libero, impiegando il sistema di coordinate sferiche. Approssimazioni in campo vicino ed in campo lontano. Potenza media irradiata in funzione della distanza radiale. Potenza media totale irradiata; resistenza di radiazione. Impedenza di ingresso. Dipolo magnetico: espressioni delle componenti di campo. Resistenza di radiazione. Impedenza d'onda del dipolo elettrico e del dipolo magnetico: andamenti in funzione del rapporto distanza radiale/lunghezza d'onda. Il dipolo lungo: dipolo in mezza onda e monopolo al quarto d'onda. Impedenza di ingresso. Esempio numerico. Schiere di antenne. Schiere di dipoli: diagrammi di radiazione per due dipoli con correnti isofrequenziali sfasate.</p>
8	12	<p>L'impiego di metodi numerici per la soluzione di problemi di elettromagnetismo. Metodi basati sulla discretizzazione di equazioni alle derivate parziali, metodi basati sulla discretizzazione di equazioni integrali. Differenza di prestazioni tra metodi analitici e metodi numerici. Il metodo dei momenti per l'analisi di problemi elettromagnetici in regime sinusoidale. Il modello matematico: l'equazione integrale. Approssimazione dell'operatore integrale mediante introduzione di funzioni di base di espansione della funzione incognita ed opportuna "pesatura"; metodo di collocazione del "point matching". Determinazione formale dell'equazione matriciale risolvibile. Individuazione di una rappresentazione integrale del campo elettrico mediante l'introduzione dei potenziali ritardati in regime sinusoidale. Introduzione dell'ipotesi "thin-wire" per la determinazione dell'equazione integrale del campo elettrico. Individuazione della funzione incognita in termini della corrente longitudinale supposta concentrata sull'asse dei conduttori sottili. Modello di simulazione di un sistema di conduttori cilindrici mutuamente interferenti immersi in terreno omogeneo; impiego del metodo delle immagini per la simulazione della discontinuità terreno-aria. Rami orientati, nodi di continuità e di discontinuità. Partizionamento della struttura e riconoscimento del numero e della tipologia delle incognite. Scelta delle funzioni di base di tipo triangolare. Le "delta di Dirac" spaziali come funzioni di test per la discretizzazione dell'equazione integrale con il metodo del "point matching". Matrici di incidenza nodali delle correnti e dei segmenti. Equazione integrale modificata. Equazione integrale discretizzata: equazioni interne di ramo, interne nodali e nodali delle correnti. Riferimenti geometrici e struttura generale dell'algoritmo relativo alle equazioni interne di ramo. Codifica dell'algoritmo relativo alle equazioni interne di ramo. Determinazione delle quantità integrali notevoli costituenti il nucleo dell'equazione integrale. Computo dell'impedenza superficiale di un conduttore cilindrico. Matrici di incidenza nodali delle correnti S e dei segmenti T. Equazioni interne nodali: codifica dell'algoritmo mediante l'ausilio della matrice T. Completamento dell'equazione matriciale mediante le equazioni nodali sulle correnti. Introduzione delle condizioni di alimentazione mediante generatore ideale indipendente di corrente. Computo delle quantità integrali notevoli costituenti il nucleo dell'equazione integrale: struttura dell'algoritmo di calcolo. Risoluzione numerica del sistema ed individuazione delle incognite. Post-processing dei dati: valutazione delle componenti del campo elettromagnetico in un qualunque punto del mezzo in funzione delle correnti longitudinali sui conduttori. Impostazione del codice di simulazione per il caso di due rami. Dichiarazione delle variabili necessarie; lettura dei dati di ingresso da file assegnato; allocazione dei dati relativi alla matrice di incidenza delle correnti; costruzione automatica della matrice di incidenza delle parti. Codifica delle istruzioni relative al computo ed alla memorizzazione delle quantità integrali Q e P e dei coseni degli angoli formati tra i diversi segmenti orientati della struttura da simulare. Codifica delle istruzioni relative al computo ed alla memorizzazione delle quantità relative alle equazioni interne di ramo: individuazione delle diverse tipologie di istruzioni relative alle diverse incognite. Codifica delle istruzioni relative al computo ed alla memorizzazione delle quantità relative alle equazioni interne nodali mediante l'ausilio della matrice di incidenza delle parti. Costruzione del vettore dei</p>

		termini noti per la risoluzione del sistema di equazioni con riferimento alla struttura da simulare. Risoluzione del sistema lineare e calcolo delle correnti longitudinali nelle diverse sezioni dei conduttori. Stampa su file dei risultati. Codifica delle istruzioni relative al computo ed alla memorizzazione delle componenti cartesiane dei campi elettrico e magnetico in qualsiasi punto del terreno. Simulazione di casi di studio diversi a diverse frequenze: commento e confronto dei risultati ottenuti.
<b>22</b>	<b>12</b>	<b>Totale parte 1 (ALA) =34</b>
4	0	Metodo delle sorgenti e equivalenti nel campo elettrico, nel campo di corrente e nel campo magnetico stazionari e quasi stazionari. Metodo di separazione delle variabili.
0	8	Introduzione all'ambiente MATLAB. Applicazioni numeriche del metodo delle sorgenti equivalenti e del metodo di separazione delle variabili.
4	9	Metodo delle differenze finite per la soluzione di problemi elettromagnetici stazionari. Applicazioni.
2	4	Il metodo FDTD (finite differences in time domain) per la soluzione numerica delle equazioni di Maxwell alle derivate parziali nel dominio del tempo.
<b>10</b>	<b>21</b>	<b>Totale parte 2 (VIOLA) =31</b>
5	2	Proprietà dei materiali isolanti elettrici. Resistività e rigidità dielettrica La scarica negli isolamenti gassosi, liquidi e solidi.
1	2	CEI EN 60156 Liquidi Isolanti – Determinazione della tensione di scarica alla frequenza industriale – Metodo di prova
4	0	Scariche parziali e analisi dei dielettrici sottoposti a sollecitazioni combinate.
1	2	CEI EN 60156 Tecniche di misura in alta tensione – Misure di scariche parziali
5	2	Meccanismi di invecchiamento dei materiali organici. Modelli e prove accelerate. Stime di vita di materiali e sistemi di isolamento elettrici.
4	2	Metodi di <i>denoising</i> e di <i>pattern recognition</i> di segnali di scariche parziali basati su tecniche innovative.
<b>20</b>	<b>10</b>	<b>Totale parte 3 (ROMANO) =30</b>
		<b>Totale: 95</b>

#### TESTI CONSIGLIATI

##### **Riferimenti Consigliati**

Dispense fornite dai docenti sui seguenti argomenti:

- Presentazione delle equazioni di Maxwell; campo di corrente stazionario e quasi stazionario; condizioni al contorno; proprietà delle funzioni che soddisfano l'equazione di Laplace.
- Linee di trasmissione;
- Antenne a dipolo;
- Equazioni delle onde dei potenziali ritardati;
- Metodo di separazione delle variabili e applicazione per la soluzione delle equazioni differenziali in regime stazionario e dinamico;
- Metodi numerici per la soluzione delle equazioni differenziali alle derivate parziali:
  - il metodo delle differenze finite;
- L'impiego del metodo dei momenti nello studio del campo elettromagnetico di dispersori complessi;
- Seminari ed esercitazioni del corso di Modelli numerici per l'Ingegneria Elettrica – *Dispensa didattica di Elettromagnetismo computazionale*

L. Simoni: Proprietà dielettriche e scarica nei materiali isolanti elettrici. Ed. CLEUB – Bologna

L. Simoni: Resistenza alle sollecitazioni dei materiali isolanti solidi. Ed. CLEUB – Bologna.

##### **Riferimenti di consultazione**

- M. D'Amore: Elettrotecnica, vol. I e II. Ed. Scientifiche Siderea, Roma
- S. Ramo, J.R. Whinnery, T. Van Duzer: Campi e onde nell'elettronica delle comunicazioni, Franco Angeli - 1990
- J.J.H. Wang: Generalized moment methods in electromagnetics, Wiley – 1991
- C.R. Paul, K.W. Whites, S. A. Nasar: Introduction to electromagnetic fields, III ed., McGraw-Hill - 1998
- C.R. Paul: Compatibilità elettromagnetica, Hoepli – 1992

➤ D.M. Sullivan: Electromagnetic simulation using the FDTD method, IEEE press- 2000