



Insegnamento	Materiali Elettromagnetici Artificiali
Livello e corso di studio	Laurea Magistrale in Ingegneria Elettronica (LM-29)
Settore scientifico disciplinare (SSD)	ING-INF/02
Anno di corso	LM29 – 1° anno A.A. 2024-2025
Numero totale di crediti	6 CFU
Propedeuticità	Campi elettromagnetici. Propagazione guidata e circuiti a microonde.
Docente	Prof.ssa Michela Longhi https://ricerca.unicusano.it/author/michela-longhi/ email: michela.longhi@unicusano.it Orario di ricevimento: mandare una mail per concordare giorno e ora del ricevimento
Presentazione	Il corso è concepito per fornire le metodologie e le competenze necessarie alla caratterizzazione dei materiali e delle superfici elettromagnetiche artificiali . In particolare, il corso fornisce informazioni di carattere teorico e pratico sulle principali caratteristiche di questi materiali innovativi. Questo corso ci colloca nell'ambito delle discipline dei campi elettromagnetici e amplia e approfondisce le conoscenze acquisite negli insegnamenti di Campi Elettromagnetici e di Propagazione guidata e circuiti a microonde, introducendo nuove tematiche teoriche e applicative sui materiali elettromagnetici artificiali.
Obiettivi formativi	L'insegnamento di Materiali elettromagnetici artificiali si propone di: 1. Illustrare le relazioni tra campo elettromagnetico e materiali sia naturali che artificiali 2. Descrivere i materiali elettromagnetici artificiali 3. Descrivere le principali caratteristiche e applicazioni di questi materiali 4. Insegnare come progettare un materiale elettromagnetico artificiale
Prerequisiti	<ul style="list-style-type: none">• Conoscenza dei fondamenti dell'analisi matematica e delle funzioni vettoriali a più variabili.• Conoscenza delle proprietà fondamentali del campo elettrostatico, magnetostatico ed elettromagnetico. <p>A riguardo, si consiglia di rivedere tali nozioni, propedeutiche per l'apprendimento e l'approfondimento della teoria della propagazione; a tal fine, si possono utilizzare i testi già consultati per la preparazione agli esami di base dell'area matematica (Analisi I e Analisi II) e fisica (Fisica generale II e Campi Elettromagnetici) sostenuti in precedenza.</p>



Risultati di apprendimento attesi	<p><u>Conoscenza e capacità di comprensione (knowledge and understanding)</u> Al termine dell'insegnamento, lo studente conoscerà la terminologia, le proprietà e le caratteristiche di elettromagnetismo avanzato applicato ai sistemi elettromagnetici artificiali. Padroneggerà, inoltre, i meccanismi di interazione tra campo elettromagnetico e materiali naturali/artificiali e le grandezze fisiche usate per descriverla.</p> <p><u>Conoscenze e capacità di comprensione applicate (applying knowledge and understanding)</u> Al fine di affrontare tematiche legate ad aspetti di elettromagnetismo applicato a superfici e materiali artificiali, anche in contesti di notevole complessità, attraverso l'applicazione delle conoscenze, lo studente dovrà saper interpretare correttamente problemi di analisi e progetto di questi materiali. Al termine dell'insegnamento, lo studente avrà sviluppato capacità di analisi e caratterizzazione necessarie per saper scegliere ed applicare tecniche e strumenti di progetto per sintetizzare materiali e superfici elettromagnetiche artificiali e saprà riconoscere le loro principali applicazioni in diversi ambiti scientifici e tecnologici.</p> <p><u>Autonomia di giudizio (making judgements)</u> Al termine dell'insegnamento, lo studente avrà acquisito la capacità di scegliere e progettare un opportuno materiale o superficie elettromagnetica artificiale per una specifica applicazione che soddisfi determinate specifiche progettuali. Inoltre, lo studente avrà sviluppato una capacità critica di interpretare i risultati ottenuti durante lo svolgimento di un esercizio numerico e di una simulazione sia in termini di coerenza fisica dei risultati ottenuti sia in termini di fattibilità ingegneristica della soluzione individuata.</p> <p><u>Abilità comunicative (communication skills)</u> Al termine dell'insegnamento, lo studente avrà sviluppato un linguaggio scientifico corretto e comprensibile che gli consentirà di esprimere in modo chiaro e privo di ambiguità le conoscenze tecniche acquisite nell'ambito della teoria dei materiali elettromagnetici artificiali e delle antenne.</p> <p><u>Capacità di apprendere (learning skills)</u> Al termine dell'insegnamento, lo studente avrà sviluppato la capacità di applicare le conoscenze acquisite per la risoluzione di problemi non familiari che abbiano come oggetto la progettazione di materiali o superfici elettromagnetiche artificiali.</p>
Organizzazione dell'insegnamento	Il corso è sviluppato attraverso le lezioni preregistrate audio-video che compongono, insieme a slide, dispense ed esami svolti, i materiali di studio disponibili in piattaforma. Sono altresì disponibili lezioni in web-conference programmate a calendario che si realizzano nei periodi didattici e video-ricevimenti con la docente per chiarire eventuali dubbi.



	<p>La didattica interattiva è svolta nel forum della “classe virtuale” e comprende 2 Etivity che applicano le conoscenze acquisite nelle lezioni di teoria.</p> <p>Il Corso di <i>Materiali Elettromagnetici Artificiali</i> prevede 6 crediti formativi (CFU). Il <u>carico totale di studio</u> per questo modulo di insegnamento è compreso tra <u>150 e 160 ore</u> così suddivise:</p> <ol style="list-style-type: none">1. circa 130 ore per la visualizzazione e lo studio del materiale videoregistrato2. circa 20 ore di didattica interattiva per l’elaborazione e la consegna delle Etivity3. circa 5 ore di didattica interattiva per l’esecuzione dei test di autovalutazione. <p>Si consiglia di distribuire lo studio della materia uniformemente in un periodo di 6-8 settimane dedicando tra le 20 alle 25 ore di studio a settimana.</p>
Contenuti del corso	<p>Modulo 1 – Richiami di Campi Elettromagnetici (Settimana 1 – Impegno di 20 ore)</p> <p>Equazioni di Maxwell e condizioni al contorno. Notazione complessa e polarizzazione. Teoremi fondamentali. Potenziali vettoriali. Funzione di Green nello spazio libero. Dipolo Hertz. Radiazione. Onde elettromagnetiche uniformi/non uniformi. Velocità di fase e di gruppo. Relazioni costitutive e classificazione dei materiali (bi-anisotropi, anisotropi, bi-isotropi, isotropi): materiali lineari/non lineari, omogenei/non omogenei, stazionari/non stazionari, locali/non locali, dispersivi/non disperdenti. Parametri costitutivi nel dominio della frequenza e del numero d'onda. Causalità e relazioni di Kramers-Kronig.</p> <p>Modulo 2 – Interazione tra campo elettromagnetico e materiali naturali (Settimane 2 – Impegno di 25 ore)</p> <p>Interazione tra campo elettromagnetico e materiali. Polarizzazione elettronica. Polarizzazione del materiale. Meccanismi elettronici, atomico/ionici, di orientamento, di polarizzazione dell'interfaccia. Modello di Lorentz: derivazione e discussione. Modello Drude: derivazione e discussione. Risposta magnetica dei materiali naturali. Classificazione dei materiali magnetici. Risposta elettrodinamica di una ferrite magnetizzata.</p> <p>Modulo 3 – Interazione tra campo elettromagnetico e materiali artificiali (Settimana 3 – Impegno di 25 ore)</p> <p>Materiali elettromagnetici artificiali. Prospettiva storica. Concetto di polarizzabilità. Polarizzabilità elettrica e magnetica. Polarizzabilità della particella metallica omega. Effetto magnetoelettrico. Campo locale e campo di interazione. Dalla risposta microscopica a quella macroscopica. Tecniche di omogeneizzazione. Formula di</p>



Maxwell-Garnet. Formula di Clausius-Mossotti. Formula di Bruggeman. Densità di energia per materiali disperdenti. Causalità e conservazione dell'energia. Dispersione anomala. Introduzione ai metamateriali. Panoramica storica. Metamateriali e loro definizioni. Indice di rifrazione negativo. Materiali elettrici artificiali con permittività negativa. Materiali elettrici artificiali nel visibile. Metamateriali Epsilon-near-zero. Magnetismo naturale e artificiale. Percorso verso materiale indice negativo in ottica. Magnetismo ottico.

Modulo 4 – Introduzione ai Metamateriali e alle Metasuperfici (Settimana 4 – Impegno di 25 ore)

Risonatore di Engheta. Lenti di Pendry. Linee di trasmissione metamateriali. Componenti miniaturizzati. Antenne miniaturizzate. Metamateriali 2D: metasuperfici. Progettazione di particelle metamateriali. Progettazione di linee di trasmissione di metamateriali e progettazione di componenti miniaturizzati (cellule unitarie, sfasatori, ecc.).

Modulo 5 – Invisibilità elettromagnetica, imaging e sensing (Settimana 5 – Impegno di 25 ore)

Invisibilità elettromagnetica. Riduzione dell'osservabilità radar. Principi di base dell'invisibilità EM. Radar e scattering cross-section. Figura di merito per i cloaks EM. Principi di base della trasformazione EM. Tecniche di invisibilità EM. Principi di base per la cancellazione dello scattering. Cancellazione della dispersione attraverso metamateriali volumetrici e metasuperfici (mantle cloaking). Teoria di Mie per oggetti nascosti sferici e cilindrici.

Modulo 6 – Software di simulazione CST (Settimana 6 – Impegno di 10 ore)

Introduzione alla simulazione elettromagnetica di materiali e superfici elettromagnetiche artificiali. Processo generico di simulazione elettromagnetica. Principali software di simulazione elettromagnetica. Utilizzo del software CST.

Etivity 1 – Installazione di CST STUDIO SUITE Student Edition ed utilizzo della sua interfaccia (5 ore di carico di studio - settimana 6).

Etivity 2 – Progetto ed analisi di una semplice struttura all'interno del software CST Microwave Studio (15 ore di carico di studio - settimana 6).

Materiali di studio

Materiali didattici a cura del docente.

Il materiale didattico presente in piattaforma è suddiviso in 6 moduli. Essi ricoprono interamente il programma e ciascuno di essi contiene dispense, esercitazioni, slide,



	<p>videolezioni in cui il docente commenta le slide. Tale materiale contiene tutti gli strumenti necessari per affrontare lo studio della materia.</p> <p>Testi consigliati:</p> <ul style="list-style-type: none">• Sergei Tretyakov, Analytical modeling in applied electromagnetics,• Constantin Simovski, Sergei Tretyakov, An introduction to metamaterials and nanophotonics• Andrey V. Osipov, Sergei Tretyakov, Modern electromagnetic scattering theory with applications
Modalità di verifica dell'apprendimento	<p>L'esame consiste di norma nello svolgimento di una prova scritta tendente ad accertare le capacità di analisi e rielaborazione dei concetti acquisiti e di una serie di attività (E-tivity) svolte durante il corso nelle classi virtuali. La valutazione delle Etivity da 0 a 5 punti, è effettuata, in itinere, durante la durata del corso. L'esame di profitto è valutato per i restanti da 0 a 26.</p> <p>L'eventuale attribuzione della lode sarà conseguibile ottenendo un punteggio di 31/30, raggiungibile acquisendo il massimo del punteggio all'esame di profitto e il massimo della valutazione dalle Etivity.</p> <p>La prova scritta prevede 4 domande di teoria da svolgere in 90 minuti. Ognuno dei quesiti ha un punteggio massimo di 6.5 punti.</p> <p>Gli esercizi presenti nelle prove d'esame riguarderanno tutti i moduli da 1 a 6.</p> <p>Lo studente che deve sostenere l'esame sull'intero programma da 6 CFU potrà scegliere, indicando in sede d'esame la sua scelta, di svolgere l'esame attraverso DUE ESAMI PARZIALI (si veda fac-simile compito caricato in piattaforma).</p> <ul style="list-style-type: none">• L'esame parziale 1 (3 CFU) riguarderà i seguenti moduli: Modulo 1, Modulo 2, Modulo 3. L'esame parziale 1 sarà valutato fino ad un massimo di 13 punti.• L'esame parziale 2 (3 CFU) riguarderà i seguenti moduli: Modulo 4, Modulo 5, Modulo 6. L'esame parziale 2 sarà valutato fino ad un massimo di 13 punti.
Criteri per l'assegnazione dell'elaborato finale	<p>L'assegnazione dell'elaborato finale avverrà sulla base di un colloquio con il docente in cui lo studente manifesterà i propri specifici interessi in relazione a qualche argomento che intende approfondire; non esistono preclusioni alla richiesta di assegnazione della tesi e non è prevista una media particolare per poterla richiedere.</p>