



CUNIVERSITÀ CUSANO

Insegnamento	Propagazione guidata e circuiti a microonde
Livello e corso di studio	Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Elettronica e Informatica (L-8) - curriculum Elettronica e Telecomunicazioni
Settore scientifico disciplinare (SSD)	IINF-02/A (ex ING-INF/02)
Anno Accademico	2025-2026
Anno di corso	3
Numero totale di crediti	9
Propedeuticità	Campi elettromagnetici
Docente	Stefano Vellucci https://ricerca.unicusano.it/author/stefano-vellucci/ Nickname: stefano.vellucci (da utilizzare per i contatti in piattaforma) Email: stefano.vellucci@unicusano.it (solo per comunicazioni interne e amministrative) Orario di ricevimento: Consultare il calendario alla pagina seguente del nostro sito verificando gli orari di Videoconferenza http://www.unicusano.it/calendario-lezioni-in-presenza/calendario-area-ingegneristica
Presentazione	Il corso è concepito per fornire le metodologie e le competenze necessarie all' analisi ed al progetto di strutture guidanti e circuiti a microonde . Il corso si propone di fornire informazioni di carattere teorico e pratico sulle principali tipologie di strutture guidanti e componenti a microonde nonché sulle relative tecniche progettuali. Particolare enfasi è posta sulla comprensione fisica dei fenomeni che caratterizzano la propagazione guidata dei campi elettromagnetici. Questo corso ci colloca nell'ambito delle discipline dei campi elettromagnetici e amplia e approfondisce le conoscenze sulla propagazione guidata acquisite negli ultimi moduli del corso di Campi Elettromagnetici.
Obiettivi formativi	L'insegnamento di Propagazione guidata e circuiti a microonde si propone di: 1. Rivedere i concetti fondamentali di campi elettromagnetici 2. Descrivere i fenomeni fisici alla base della propagazione guidata del campo elettromagnetico 3. Illustrare le tecniche analitiche necessarie per l'analisi dei problemi di propagazione guidata 4. Descrivere il concetto di modo guidato e le rispettive proprietà 5. Descrivere le principali grandezze elettromagnetiche utilizzate per caratterizzare i sistemi guidanti 6. 6. Illustrare le caratteristiche e gli elementi progettuali delle principali strutture guidanti e dei principali componenti a microonde
Prerequisiti	Conoscenza dei fondamenti dell'analisi matematica e delle funzioni vettoriali a più variabili. Conoscenza delle proprietà fondamentali del campo elettrostatico, magnetostatico ed elettromagnetico. Al riguardo, si consiglia di rivedere tali nozioni, propedeutiche per l'apprendimento e l'approfondimento della teoria della propagazione guidata; 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.
Risultati di apprendimento attesi	Conoscenza e capacità di comprensione (knowledge and understanding) Al termine dell'insegnamento, lo studente conoscerà la terminologia, le proprietà e le grandezze fisiche utilizzate per caratterizzare un modo di propagazione. Conoscerà, inoltre, le caratteristiche della propagazione dei campi elettromagnetici all'interno delle strutture guidanti in relazione alla banda di frequenze utilizzata, i principi di funzionamento dei principali tipi di strutture guidanti, la formulazione analitica necessaria per la loro analisi, le loro caratteristiche e i rispettivi vantaggi e svantaggi. Infine, lo studente conoscerà il modello a linea di trasmissione dei modi guidati, le tecniche analitiche e degli strumenti necessari per caratterizzare un circuito a microonde e comprenderà le funzioni e il principio di funzionamento dei principali componenti a microonde in guida d'onda e microstriscia. Conoscenze e capacità di comprensione applicate (applying knowledge and understanding) Al termine dell'insegnamento, lo studente avrà sviluppato capacità di analisi e sintesi di strutture guidanti a singolo e a più conduttori e sarà in grado di calcolare il campo elettromagnetico che si propaga all'interno di

	una generica struttura guidante nota la geometria e le caratteristiche della struttura. Inoltre, avrà maturato la capacità di analisi e sintesi di componenti a microonde a una, due, tre e quattro porte. Autonomia di giudizio (making judgements) Al termine dell'insegnamento, lo studente avrà la capacità di scegliere una determinata tipologia di struttura guidante in base a delle specifiche progettuali. Avrà, inoltre, maturato la capacità di individuare i componenti necessari a svolgere una preassegnata funzione complessa nonché le relative interconnessioni. Infine, 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. Abilità comunicative (communication skills) 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 della propagazione guidata e dei circuiti a microonde. Capacità di apprendere (learning skills) 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 trasmissione del campo elettromagnetico attraverso un'opportuna struttura guidante e la sua elaborazione mediante circuiti a microonde.
Organizzazione dell'insegnamento	Il corso è sviluppato attraverso le lezioni preregistrate audio-video dalla durata di mezz'ora ciascuna che compongono, insieme a slide, dispense ed esercitazioni svolte, i materiali di studio disponibili in piattaforma. Sono poi proposti dei test di autovalutazione, di tipo asincrono, che corredano le lezioni preregistrate e consentono agli studenti di accertare sia la comprensione, sia il grado di conoscenza acquisita dei contenuti di ognuna delle lezioni. Sono altresì disponibili lezioni in web-conference programmate a calendario che si realizzano nei periodi didattici e test di appelli d'esame precedenti, utili per prendere confidenza con la tipologia d'esame scritto. La didattica interattiva è svolta nel forum della "<i>classe virtuale</i>" e comprende tre Etivity che applicano le conoscenze acquisite nelle lezioni di teoria ad esercizi e simulazioni, anche mediante l'utilizzo di un software di simulazione numerica per applicazioni elettromagnetiche. In particolare, il Corso di Propagazione guidata e circuiti a microonde guidata prevede 9 crediti formativi (CFU). Il carico totale di studio per questo modulo di insegnamento è di circa 225 ore così suddivise in: 1. circa 160 ore per la visualizzazione e lo studio del materiale videoregistrato 2. circa 55 ore di didattica interattiva per l'elaborazione delle Etivity 3. circa 10 ore di didattica interattiva per l'esecuzione dei test di autovalutazione. Si consiglia di distribuire lo studio della materia uniformemente in un periodo di 10-12 settimane dedicando tra le 20 alle 25 ore di studio a settimana.
Contenuti del corso	Modulo 1 – Richiami di elettromagnetismo e introduzione alle microonde (Settimana 1 – Impegno di 20 ore) Richiami di elettromagnetismo: equazioni di Maxwell, onde elettromagnetiche e relazioni costitutive. Introduzioni alle microonde: spettro elettromagnetico e relative applicazioni, esempi di strutture guidanti. Modulo 2 – Generalità sulle proprietà delle strutture guidanti (Settimane 2-3 – Impegno di 40 ore) Equazioni di Maxwell in forma trasversa. Onde TE, TM e TEM. Condizioni al contorno. Autovalori e autofunzioni. Velocità di fase, dell'energia e di gruppo. Attenuazione. Ortogonalità dei modi. Modulo 3 – Guida d'onda rettangolare e guida d'onda circolare (Settimane 4-5 – Impegno di 35 ore) Onde TE e TM in guida d'onda rettangolare. Modo dominante e modi di ordine superiore in guida d'onda rettangolare. Richiami sulle funzioni di Bessel. Onde TE e TM in guida d'onda circolare. Modo dominante e modi di ordine superiore in guida d'onda circolare. Modulo 4 – Strutture guidanti a due o più conduttori (Settimane 5-6 – Impegno di 25 ore) Strutture guidanti a più conduttori a mantello metallico chiuso. Cavo coassiale: calcolo del modo dominante, potenza trasmessa, attenuazione, modi di ordine superiore. Power handling di un cavo coassiale. Impedenza caratteristica di un cavo coassiale. Strutture guidanti a più conduttori a mantello metallico aperto. Guida a piatti piani paralleli: modo dominante e modi di ordine superiore. Impedenza caratteristica di una stripline. Impedenza caratteristica di una linea di trasmissione a microstriscia. Modulo 5 – Analisi e progetto di reti a microonde

	(Settimane 7-8 – Impegno di 40 ore) Introduzione e richiamo sulle linee di trasmissione. Modello a linea di trasmissione per i modi guidati. Circuiti a microonde. Matrici per le reti a microonde. Componenti passivi a microonde. Risonatori a cavità: risonatore parallelepipedo e cilindrico e carta dei modi risonanti. Componenti a una porta: terminazioni adattate, cortocircuito mobile, interconnessioni e giunzioni. Componenti a due porte: attenuatori, sfasatori, isolatori. Componenti a tre porte: giunzione a T, divisore di Wilkinson, circolatore. Analisi modale di un divisore di Wilkinson. Componenti a quattro porte: accoppiatori direzionale, giunzioni ibride. Modulo 6 – Simulatori elettromagnetici (Settimana 9 – Impegno di 10 ore) Introduzione al software di simulazione elettromagnetico CST Studio Suite; Interfaccia di base; Utilizzo dell'help del programma; Definizione di un setup di simulazione; Tipi di risolutori disponibili; Definizioni dei materiali; Definizioni dell'intervallo di frequenze, delle condizioni al contorno e dei piani di simmetria; Tipi di eccitazione elettromagnetica; Definizione di monitor di campo; Simulazione di un dipolo elettromagnetico a $\lambda/2$ e visualizzazione delle relative caratteristiche; Simulazione di una guida d'onda e visualizzazione delle relative caratteristiche; Simulazione di un T-magico e relative caratteristiche. Etivity (Settimane 10-12 – Impegno di 55 ore) Etivity 1 – Progetto e analisi di una guida d'onda con un software di simulazione elettromagnetica full-wave. Redazione di un report tecnico (15 ore di carico di studio) Etivity 2 – Progetto e analisi di una struttura guidanti a più conduttori con un software di simulazione elettromagnetica full-wave. Redazione di un report tecnico (15 ore di carico di studio) Etivity 3 – Progetto e analisi di un componente a microonde in microstriscia con un software di simulazione elettromagnetica full-wave. Redazione di un report tecnico (25 ore di carico di studio)
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, videolezioni in cui il docente commenta le slide. Tale materiale contiene tutti gli strumenti necessari per affrontare lo studio della materia. Testi consigliati: • David M. Pozar, “<i>Microwave Engineering</i>”, John Wiley & Sons, Inc., 4rd edition. • Robert E. Collin, “<i>Foundations for Microwave Engineering</i>”, Wiley-IEEE Press, 2nd edition
Modalità di verifica dell'apprendimento	L'esame consiste 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 25 e può essere effettuato in forma scritta sia presso la sede di Roma sia presso i poli didattici previa prenotazione da parte dello studente. I risultati di apprendimento attesi circa le conoscenze della materia e la capacità di applicarle sono valutate dalla prova scritta, mentre le abilità comunicative, la capacità di trarre conclusioni e la capacità di autoapprendimento sono valutate in itinere attraverso le e-tivity. La prova scritta prevede 2 esercizi numerici e 1 domanda di teoria da svolgere in 90 minuti. Ogni risposta verrà valutata in base ai seguenti parametri: attinenza al quesito, completezza delle informazioni, modalità di sviluppo dell'argomento. Gli esercizi presenti nelle prove d'esame riguarderanno i moduli per cui sono presenti esercizi in piattaforma (caricati come file singolo all'interno del modulo corrispondente). Gli esercizi, pertanto, riguarderanno i seguenti moduli: Guida d'onda rettangolare e guida d'onda circolare; Strutture guidanti a due o più conduttori; Analisi e progetto di reti a microonde. Gli argomenti delle domande di teoria, invece, possono riguardare tutti i moduli del corso. Per lo svolgimento degli esami è consentito l'utilizzo del formulario del corso caricato in piattaforma. Gli studenti sono invitati a stampare il formulario e a portarlo con sé il giorno dell'esame. Si invitano gli studenti ad usare in modo sistematico il formulario sin dalle prime fasi della preparazione dell'esame, in modo da prendere progressivamente confidenza con questo prezioso strumento.

	Le <i>e-tivity</i>, invece, vanno svolte individualmente da ciascuno studente e consegnate al docente tramite messaggio in piattaforma almeno una settimana prima della prova d'esame cui lo studente si è prenotato. Il materiale da consegnare per ciascuna e-tivity è costituito da due file: un file con estensione “.cst”, contenente la simulazione impostata dallo studente (senza i risultati), e un file con estensione “.pdf” contenente un report dettagliato dei risultati della simulazione. Nota A partire da gennaio 2020, lo studente che deve sostenere l'esame sull'intero programma da 9 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). • L'esame parziale 1 (5 CFU) riguarderà i seguenti moduli: Modulo 1, Modulo 2, Modulo 3, Modulo 4, Modulo 6 e comprende l'E-Tivity 1. L'esame parziale 1 sarà valutato fino ad un massimo di 17 punti (compresa la valutazione dell'e-tivity 1 e dell'e-tivity 2). • L'esame parziale 2 (4 CFU) riguarderà i seguenti moduli: Modulo 5, Modulo 6 e comprende l'E-Tivity 3. L'esame parziale 2 sarà valutato fino ad un massimo di 14 punti (compresa la valutazione dell'e-tivity 3).
Criteri per l'assegnazione dell'elaborato finale	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.