



# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO

<b>DIPARTIMENTO</b>	Ingegneria		
<b>ANNO ACCADEMICO OFFERTA</b>	2019/2020		
<b>ANNO ACCADEMICO EROGAZIONE</b>	2019/2020		
<b>CORSO DILAUREA MAGISTRALE</b>	ELECTRONICS ENGINEERING		
<b>INSEGNAMENTO</b>	MICROWAVE ELECTRONICS C.I.		
<b>CODICE INSEGNAMENTO</b>	20525		
<b>MODULI</b>	Si		
<b>NUMERO DI MODULI</b>	2		
<b>SETTORI SCIENTIFICO-DISCIPLINARI</b>	ING-INF/01		
<b>DOCENTE RESPONSABILE</b>	CALANDRA ENRICO	Professore a contratto in quiescenza	Univ. di PALERMO
<b>ALTRI DOCENTI</b>	STIVALA SALVATORE CALANDRA ENRICO	Professore Associato Professore a contratto in quiescenza	Univ. di PALERMO Univ. di PALERMO
<b>CFU</b>	12		
<b>PROPEDEUTICITA'</b>			
<b>MUTUAZIONI</b>			
<b>ANNO DI CORSO</b>	1		
<b>PERIODO DELLE LEZIONI</b>	2° semestre		
<b>MODALITA' DI FREQUENZA</b>	Facoltativa		
<b>TIPO DI VALUTAZIONE</b>	Voto in trentesimi		
<b>ORARIO DI RICEVIMENTO DEGLI STUDENTI</b>	<p><b>CALANDRA ENRICO</b></p> <p>Lunedì 10:10 10:55 Ricevimento TELEMATICO su piattaforma MS-TEAMS (richiedere LINK via email in simultanea alla prenotazione preventiva ed obbligatoria).</p> <p>Martedì 10:10 10:55 Ricevimento TELEMATICO su piattaforma MS-TEAMS (richiedere LINK via email in simultanea alla prenotazione preventiva ed obbligatoria).</p> <p>Giovedì 10:10 10:55 Ricevimento TELEMATICO su piattaforma MS-TEAMS (richiedere LINK via email in simultanea alla prenotazione preventiva ed obbligatoria).</p> <p><b>STIVALA SALVATORE</b></p> <p>Giovedì 15:00 17:00 viale delle Scienze, Ed. 9 (ex-DEIM), Il piano</p>		

<p><b>PREREQUISITI</b></p>	<p>NOTA GENERALE: I due moduli in cui si articola l'Insegnamento Integrato devono essere necessariamente seguiti nell'ordine cronologico di erogazione, fungendo il primo modulo da propedeusi indispensabile al secondo.</p> <p>Per il primo modulo (Componenti a Microonde) i prerequisiti necessari riguardano le basi teorico-applicative dell'Elettromagnetismo e della Propagazione Elettromagnetica, con particolare riferimento a:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Equazioni di Maxwell</li> <li>- Condizioni al contorno</li> <li>- Energia e potenza del campo elettromagnetico; Teorema di Poynting</li> <li>- Teoremi fondamentali (teorema di unicità; teorema di reciprocità di Lorentz)</li> <li>- Onde piane</li> <li>- Linee di trasmissione</li> <li>- Modi di propagazione guidata (TE, TM e TEM)</li> <li>- Velocità di fase, di gruppo e dell'energia</li> <li>- La guida rettangolare, la guida circolare, il cavo coassiale</li> </ul> <p>Per il secondo modulo (Circuiti a Microonde), oltre alla succitata propedeusi del primo modulo, sono richiesti i seguenti prerequisiti:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Adeguate conoscenze dei dispositivi elettronici a semiconduttore (Diodi, FET, BJT, etc.) e di Elettronica Analogica (circuiti e sistemi);</li> <li>- Adeguate conoscenze dei concetti di base del CAD elettronico ed una competenza pratica sufficiente dell'uso dei simulatori circuitali (conseguita, ad esempio con la frequenza al corso di "Progettazione Automatica dei Circuiti Elettronici" già erogato da questo Ateneo)</li> </ul>
<p><b>RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI</b></p>	<p>CONOSCENZA E CAPACITÀ DI COMPrensIONE:</p> <p>Lo studente, al termine del primo modulo, avrà acquisito le conoscenze necessarie per approcciarsi a fenomeni elettromagnetici caratterizzati da una lunghezza d'onda confrontabile con le dimensioni dei circuiti o degli oggetti in cui il campo elettromagnetico si manifesta.</p> <p>Lo studente imparerà, inoltre, ad analizzare e descrivere circuiti a microonde, nonché il principio di funzionamento dei componenti a microonde, sia attivi che passivi.</p> <p>Lo studente, al termine del secondo modulo, avrà acquisito conoscenze e metodi per l'analisi ed il progetto, anche con l'ausilio del software ECAD dedicato, di circuiti integrati per microonde (MIC - Microwave Integrated Circuits) in tecnologia sia ibrida (HMIC) che integrata (MMIC).</p> <p>La conoscenza dei blocchi circuitali di base caratteristici di tali tecnologie permetterà allo studente di comprendere meglio le problematiche connesse all'implementazione hardware dei circuiti per Telecomunicazioni, Telemetria, Trasmissione dati, etc., studiati in altri Insegnamenti del loro Indirizzo, con particolare riguardo all'influenza dei limiti fisico-tecnologici che ne condizionano le prestazioni attuali e le linee di sviluppo futuro.</p> <p>Per il raggiungimento di questi obiettivi, il corso comprende lezioni frontali. Per la verifica di questi obiettivi, l'esame comprende una discussione sugli argomenti del programma.</p> <p>CAPACITÀ DI APPLICARE CONOSCENZA E COMPrensIONE:</p> <p>Lo studente, al termine del primo modulo, avrà acquisito conoscenza della strumentazione e dei sistemi di misura per la valutazione delle prestazioni tipiche di componenti e circuiti a microonde. Lo studente, sarà quindi in grado di effettuare misure di parametri di interesse nell'ambito delle microonde, quali lunghezza d'onda, potenza, rapporto d'onda stazionaria, coefficiente di riflessione, fattore di qualità, sfasamento.</p> <p>Lo studente, al termine del secondo modulo, sarà in grado di utilizzare le conoscenze acquisite per analizzare qualitativamente e quantitativamente le prestazioni di circuiti operanti ad altissima frequenza, ricorrendo all'impiego ragionato ed efficace dei più recenti strumenti software di progetto assistito da calcolatore specifici del settore (software ECAD per circuiti a Microonde).</p> <p>Per il raggiungimento di questi obiettivi, il corso prevede: esercitazioni in aula ed in laboratorio; la preparazione di relazioni sulle simulazioni e sulle misure svolte.</p> <p>Per la verifica di questi obiettivi, l'esame comprende una discussione delle relazioni sulle simulazioni della tesina e le misure eseguite in laboratorio.</p> <p>AUTONOMIA DI GIUDIZIO:</p>

	<p>Lo studente, al termine del primo modulo, avra' acquisito una conoscenza dei vantaggi e dei limiti delle prestazioni raggiunte con le differenti tecnologie disponibili. Sara' quindi in grado di decidere, in fase di progettazione, quale di esse adottare ed, eventualmente, la necessita' di uno sviluppo.</p> <p>Grazie all'approccio metodologico, teorico-sperimentale, acquisito durante il corso, egli potra' esprimere giudizio autonomo sulle problematiche connesse ai componenti per microonde.</p> <p>Lo studente, al termine del secondo modulo, sara' in grado di interpretare correttamente le motivazioni che guidano lo sviluppo delle tecnologie elettroniche per microonde e di valutare autonomamente la maggiore o minore validita' di soluzioni alternative di uno stesso problema. Sara' inoltre in grado di comprendere appieno le scelte architettureali che i vincoli sui singoli blocchi costitutivi impongono nella realizzazione di sistemi complessi oggi in uso per la trasmissione e l'elaborazione dei segnali (sia di tipo analogico che digitale).</p> <p>Per il raggiungimento di questo obiettivo, il corso comprende lezioni ed esercitazioni sulla progettazione.</p> <p>Per la verifica di questo obiettivo, l'esame comprende una discussione su aspetti progettuali.</p> <p><b>ABILITA' COMUNICATIVE TECNICHE:</b></p> <p>Lo studente, al termine del corso, avra' acquisito la capacita' di comunicare ed esprimere concetti complessi connessi alle tecnologie elettroniche per microonde con proprieta' di linguaggio tecnico specifico, anche in contesti altamente specializzati. Sara' quindi in grado di interagire costruttivamente con altri specialisti del ramo o di rami affini, in team di ricerca e sviluppo nei molteplici ambiti di applicazione delle iperfrequenze.</p> <p>Per il raggiungimento di questo obiettivo, il corso comprende discussioni in aula e dibattiti guidati sulle tematiche affrontate.</p> <p>Per la verifica di questo obiettivo, l'esame comprende una prova orale sugli argomenti del corso e l'esposizione della relazione sulle esercitazioni svolte in laboratorio e della tesina.</p> <p><b>CAPACITA' D'APPRENDIMENTO:</b></p> <p>Lo studente, al termine del primo modulo, sara' in grado di comprendere le problematiche relative all'utilizzazione di componentistica a microonde.</p> <p>Lo studente, al termine del secondo modulo, avra' rinforzata l'attitudine ad affrontare in modo metodologicamente rigoroso, mediante l'impiego di modelli di complessita' adeguata alla bisogna, la soluzione di problemi ingegneristici di difficolta' superiore. Lo stimolo all'applicazione della teoria studiata a problemi pratici (con la sua migliore espressione nello sviluppo della "tesina") e' mirata a rafforzare la capacita' dello studente ad eseguire un'analisi personale del problema in esame (utilizzando anche la disponibilita' in Rete di una enorme mole di documentazione tecnica) verso soluzioni non necessariamente vincolate alle sole competenze gia' acquisite.</p> <p>Per il raggiungimento di questo obiettivo, il corso comprende: lezioni frontali; esercitazioni teoriche, simulate e di laboratorio.</p> <p>Per la verifica di questo obiettivo, l'esame comprende: discussione sugli argomenti del programma; discussione della relazione sulle esercitazioni svolte in laboratorio; discussione della tesina.</p>
<p><b>VALUTAZIONE DELL'APPRENDIMENTO</b></p>	<p>La verifica dell'apprendimento e' articolata in due fasi, relativamente ai due moduli costitutivi.</p> <p>Per il primo modulo, l'esame consiste in una prova orale, volta ad accertare il possesso delle competenze e delle conoscenze disciplinari previste.</p> <p>Piu' in dettaglio, l'esaminando dovra' rispondere a domande su argomenti svolti nel modulo, con riferimento ai testi consigliati. In aggiunta, l'esaminando dovra' presentare e discutere una relazione sulle esercitazioni svolte in laboratorio.</p> <p>Per quanto concerne il secondo modulo, l'esame si basa sullo sviluppo di una "tesina" scritta (e, di massima, corredata da "project files" di simulazione circuitale) e su un colloquio orale in cui, oltre a discutere la citata tesina, dopo la sua presentazione, viene accertata, a campione, la conoscenza di alcuni degli argomenti presentati a lezione ed approfonditi nelle esercitazioni di tale modulo, ma non trattati nella specifica tesina.</p> <p>Detta tesina viene assegnata a fine Insegnamento, dopo aver chiarito individualmente con lo studente obiettivi e metodi dell'elaborato/progetto da presentare, fornendo indicazioni su dove trovare (nei testi di studio consigliati o</p>

	<p>in eventuale materiale di approfondimento specifico, ove necessario) tutti i riferimenti necessari allo studio/sviluppo individuale del tema assegnato.</p> <p>Sulla base degli elaborati presentati e dei colloqui svolti, viene proposto allo studente il voto finale dell'esame, seguendo la logica illustrata dalla seguente tabella sinottica:</p> <p><b>VALUTAZIONE (VOTO) CARATTERISTICHE DIMOSTRATE DALL'ESAMINANDO:</b></p> <p><b>Eccellente (30 - 30 e lode)</b> Ottima conoscenza degli argomenti trattati, ottima proprietà di linguaggio tecnico, buona capacità analitica, lo studente è in pienamente in grado di applicare, in autonomia, le conoscenze acquisite per risolvere i problemi proposti;</p> <p><b>Molto Buono (26 - 29)</b> Buona padronanza degli argomenti trattati, piena proprietà di linguaggio tecnico, lo studente è in grado di applicare le conoscenze acquisite per risolvere i problemi proposti;</p> <p><b>Buono (24 - 25)</b> Conoscenza di base dei principali argomenti trattati, discreta proprietà di linguaggio tecnico, con limitata capacità di applicare autonomamente le conoscenze alla soluzione dei problemi proposti;</p> <p><b>Soddisfacente (21 - 23)</b> Non ha la piena padronanza degli argomenti principali dell'insegnamento, ma ne possiede le conoscenze, soddisfacente proprietà di linguaggio tecnico, scarsa capacità di applicare autonomamente le conoscenze acquisite;</p> <p><b>Sufficiente (18 - 20)</b> Minima conoscenza di base degli argomenti principali dell'insegnamento e del linguaggio tecnico, scarsissima o nulla capacità di applicare autonomamente le conoscenze acquisite;</p> <p><b>Insufficiente ( / )</b> Non possiede una conoscenza accettabile dei contenuti degli argomenti trattati nell'insegnamento.</p>
<p><b>ORGANIZZAZIONE DELLA DIDATTICA</b></p>	<p>Per il primo modulo (Componenti a Microonde), l'insegnamento si articola in lezioni frontali ed esercitazioni a carattere sperimentale in laboratorio. Tale attività di laboratorio permette di rinforzare i concetti teorici svolti a lezione con la loro applicazione pratica su dispositivi reali, caratterizzati mediante opportuni insiemi di misure sperimentali. Tale attività verrà svolta in un laboratorio didattico appositamente attrezzato con componenti e strumentazione di misura a microonde, con cui gli studenti saranno chiamati ad interagire.</p> <p>Per il secondo modulo (Circuiti a Microonde), l'insegnamento si articola in lezioni frontali ed esercitazioni al calcolatore. Vista la natura applicativa dell'insegnamento in questione, durante le esercitazioni, ma talora anche nel corso delle lezioni frontali, viene fatto un uso particolarmente esteso di ausili didattici interattivi, in particolare l'utilizzo di programmi software per la progettazione circuitale assistita da calcolatore (ECAD - Electronic Computer Aided Design). Tale approccio consente al Docente di mostrare - a breve distanza temporale dalla presentazione della teoria - l'applicazione pratica della stessa al contesto progettuale, con l'obiettivo di rendere il più possibile "realistico" l'argomento trattato, dato che l'utilizzo di strumenti ECAD permette di non essere vincolati a iper-semplificazioni (ad esempio basate su approcci solo analitici) della complessità dei fenomeni fisici che caratterizzano i sistemi elettronici per alte frequenze di che trattasi.</p> <p>Per tale motivo, la suddivisione fra lezioni ed esercitazioni è spesso "flessibile" e non vincolata a giorni/orari specifici fissi nella settimana. Si può anche sottolineare come l'utilizzo di tali software di simulazione non sia limitata al solo docente ma anzi, nel corso delle esercitazioni, sia previsto l'uso da parte degli studenti degli strumenti software ECAD sopra citati, in modo da renderli progressivamente sempre più autonomi nel loro utilizzo, cosicché, al momento dello sviluppo della tesina/progetto-finale (vedi sotto), essi siano in grado di sfruttare vantaggiosamente tali strumenti per un rapido e positivo sviluppo del tema (progettuale o applicativo) a loro assegnato.</p>

## MODULO MICROWAVE CIRCUITS

*Prof. ENRICO CALANDRA*

### TESTI CONSIGLIATI

G. Gonzalez: "Microwave Transistor Amplifiers: analysis and design", Prentice Hall, 1996, seconda edizione (ISBN 0132543354).

R. Sorrentino e G. Bianchi: "Microwave and RF Engineering", Wiley & Sons, Ltd, 2010, prima edizione (ISBN 978047075862).  
Ulteriori sussidi didattici a cura del Docente (distribuiti via web in formato elettronico).

<b>TIPO DI ATTIVITA'</b>	B
<b>AMBITO</b>	50364-Ingegneria elettronica
<b>NUMERO DI ORE RISERVATE ALLO STUDIO PERSONALE</b>	102
<b>NUMERO DI ORE RISERVATE ALLE ATTIVITA' DIDATTICHE ASSISTITE</b>	48

### OBIETTIVI FORMATIVI DEL MODULO

Obiettivo di questo modulo e' quello di fornire le competenze fondamentali inerenti ai metodi ed alle tecniche dell'Elettronica dei Circuiti a Microonde.

Tale competenze si fondano sulla fusione delle conoscenze gia' acquisite in altri Insegnamenti propedeutici (segnatamente, il primo modulo di tale Corso Integrato dedicato ai dispositivi e componenti per Microonde) con le competenze tipiche dell'Elettronica applicata ai circuiti integrati per Microonde in versione sia ibrida (HMIC) che monolitica (MMIC). A tal fine verranno ripresi ed approfonditi temi gia' trattati anche nel corso della Laurea Triennale in Elettronica, al fine di completare le competenze dello studente e renderle applicabili a casi progettuali piu' realistici. In particolare verranno trattati in dettaglio i temi della caratterizzazione di guadagno e di rumore dei dispositivi per iperfrequenze, le tecniche progettuali mediante circuiti a parametri distribuiti (Microstrisce e simili) e lo studio delle specifiche configurazioni utilizzate nel campo delle altissime frequenze per la realizzazione di amplificatori, oscillatori e mixer impieganti dispositivi a stato solido. Nel far cio' verranno utilizzati estensivamente, in particolare nel corso delle esercitazioni, dei software ECAD dedicati ai circuiti a microonde (ad esempio il Microwave Office / Design Environment della NI-AWR) con l'obiettivo di rendere il loro utilizzo familiare agli studenti (che ne potranno trarre vantaggio sia prima che successivamente al conseguimento della laurea Magistrale di che trattasi).

## PROGRAMMA

ORE	Lezioni
1	Introduzione all'Insegnamento: tematiche, obiettivi, metodi e logistica
3	Caratterizzazione e modellistica di rumore e di guadagno (lineare) di dispositivi attivi per microonde
3	Caratterizzazione e modellistica di rumore e di guadagno (non-lineare) di dispositivi attivi per microonde
4	Problematiche di "layout" nei circuiti HMIC ed MMIC e loro soluzione tramite simulazione EM
6	Basi teoriche del progetto assistito da calcolatore di amplificatori a basso rumore per microonde
6	Basi teoriche del progetto assistito da calcolatore di amplificatori di potenza per microonde
2	Problematiche ed analisi di stabilita' dei circuiti attivi per microonde
5	Oscillatori a microonde
4	Mixer per microonde e sistemi HMIC/MMIC complessi
2	Problematiche di analisi statistica e centratura del progetto di circuiti a microonde e loro soluzione ECAD

  

ORE	Esercitazioni
12	Esempi ed Esercizi sull'analisi ed il progetto, mediante strumenti software ECAD, delle varie classi di circuiti illustrati a lezione

**MODULO  
MICROWAVE COMPONENTS**

*Prof. SALVATORE STIVALA*

**TESTI CONSIGLIATI**

- R. Sorrentino and G. Bianchi: "Microwave and RF Engineering". John Wiley & Sons, 2010 (ISBN: 978-0-470-75862-5)
- R. E. Collin: "Foundations for Microwave Engineering", 2nd Edition. McGraw-Hill, 2001 (ISBN: 978-0-7803-6031-0)
- J. W. Gewartowski, Hugh A. Watson, "Principles of electron tubes". Van Nostrand (ISBN 10: 0442026501)
- A. S. Gilmour, "Principles of Traveling Wave Tubes" Artech House Radar Library (ISBN-10: 0890067201)

<b>TIPO DI ATTIVITA'</b>	B
<b>AMBITO</b>	50364-Ingegneria elettronica
<b>NUMERO DI ORE RISERVATE ALLO STUDIO PERSONALE</b>	102
<b>NUMERO DI ORE RISERVATE ALLE ATTIVITA' DIDATTICHE ASSISTITE</b>	48

**OBIETTIVI FORMATIVI DEL MODULO**

I principali obiettivi formativi di questo modulo didattico consistono nell'acquisizione, da parte dello studente, di nozioni, metodologie e tecniche per lo studio e l'analisi dei componenti a microonde, sia attivi che passivi. Lo studente sarà in grado inoltre di valutarne le prestazioni mediante appropriati sistemi di misura.

[scheda di trasparenza del modulo "Microwave Components" approvata in data 02/03/2020, mediante decreto n. 5061 del Coordinatore del CICS in Ingegneria Elettronica ed Electronics Engineering, previo parere favorevole della Commissione di Gestione AQ del Corso di Laurea Magistrale in Electronics Engineering (seduta del 02/03/2020)]

**PROGRAMMA**

ORE	Lezioni
1	Introduzione alle Microonde e Radiofrequenze
1	Richiami sulla propagazione elettromagnetica e sulle guide d'onda
2	La linea a striscia, la microstriscia e la linea coplanare
6	Teoria dei circuiti per sistemi ad onda guidata
8	Dispositivi e componenti passivi a microonde: attenuatori; sfasatori; accoppiatori direzionali; divisori di potenza.
2	Giunzioni non reciproche per microonde: isolatori; giratori; circolatori.
4	Circuiti risonanti e cavità
6	Filtri e strutture periodiche a microonde
1	Struttura fondamentale di un tubo a microonde
2	Cannone elettronico: catodi impiegati per i tubi a vuoto; ottica per il controllo del fascio fino all'imbocco della struttura di interazione; sistemi di modulazione del pennello (griglie, focus e anodi)
2	Strutture di interazione per Klystron: meccanismo di interazione tra pennello e campo RF (bunching); struttura a cavità
2	Strutture di interazione per TWT: diagramma di dispersione ed impedenza di interazione per le strutture fondamentali (elica, cavità accoppiate e folded-waveguide)
2	Descrizione e impiego di software di progettazione per Klystron e TWT
1	Strutture magnetiche di focalizzazione
2	Collettori multistadio per TWT
ORE	Esercitazioni
12	Esercitazioni a carattere sperimentale in laboratorio didattico sugli argomenti trattati a lezione.