

**UNIVERSITÀ DI CATANIA - FACOLTÀ DI INGEGNERIA**  
**CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTRONICA V.O.**  
**ISTITUTO DI INFORMATICA E TELECOMUNICAZIONI**

**PROGRAMMA DI CAMPI ELETTROMAGNETICI**

A.A. 2002-03

Prof. S. Barbarino

Introduzione: Cenni storici - Lo spettro elettromagnetico.

Il campo elettromagnetico: Equazioni di Maxwell - Forma integrale delle equazioni del campo - Relazioni costitutive - Densità di carica libera all'interno dei mezzi conduttori - Campo elettromagnetico nei mezzi conduttori perfetti - Forze nel campo elettromagnetico: il tensore degli sforzi elettromagnetici - Il flusso di energia: Teorema di Poynting - Condizioni ai limiti. Discontinuità nei vettori del campo - Trasformazioni relativistiche delle equazioni di Maxwell per lo spazio vuoto - Trasformazioni "galileiane" delle equazioni di Maxwell per lo spazio vuoto - Trasformazioni delle equazioni di Maxwell con considerazione delle correnti di convezione - Deduzione del campo elettrico e del campo magnetico generato da una carica puntiforme in moto rettilineo uniforme dalle leggi di trasformazioni dei campi - Teorema di unicità.

Appendice - Campo elettrico generato da un dielettrico polarizzato - Legge di Gauss in un dielettrico - Vettore induzione elettrica - Suscettività elettrica - Applicazione della legge di Gauss in un dielettrico - Potenziale magnetico vettore - Campo magnetico generato da un circuito localizzato posto a grande distanza dall'osservatore - Descrizione macroscopica della materia magnetizzata: calcolo del potenziale vettore prodotto dalla materia magnetizzata.

L'esistenza di onde elettromagnetiche e loro caratteristiche fondamentali - Equazioni delle onde - Onde piane armoniche nel tempo - Propagazione nei mezzi dielettrici perfetti - Propagazione in un mezzo conduttore - Onde piane armoniche nello spazio - Espresione delle onde piane che si propagano in direzione diversa dall'asse  $z$  - Soluzione generale dell'equazione d'onda unidimensionale - Polarizzazione delle onde elettromagnetiche - Composizione di onde della stessa frequenza vibranti su piani ortogonali - Parametri di Stokes e sfera di Poincaré - Espressione del teorema dell'energia di Poynting per campi armonici nel tempo. Il vettore di Poynting complesso - Effetto Doppler e aberrazione della luce.

Riflessione e rifrazione su una superficie piana - Leggi di Snell - Equazioni di Fresnel - Leggi di Snell per mezzi dielettrici perfetti - Formule di Fresnel per mezzi dielettrici perfetti -  $\vec{E}_0$  normale al piano di incidenza - Formule di Fresnel per mezzi dielettrici perfetti -  $\vec{E}_0$  parallelo al piano di incidenza - Osservazioni sulla riflessione della componente parallela del campo elettrico ( $\epsilon_{r1} < \epsilon_{r2}$ ) - Osservazioni sulla riflessione della componente ortogonale del campo elettrico ( $\epsilon_{r1} < \epsilon_{r2}$ ) - Calcolo della densità di potenza riflessa e trasmessa - Dielettrici perfetti - Campo elettrico incidente e linearmente polarizzato in direzione arbitraria.

Riflessione totale - Riflessione e rifrazione in un mezzo conduttore - Riflessione totale - Onde superficiali - Calcolo dei coefficienti di riflessione e di trasmissione nel caso di

riflessione totale  $\theta_0 \geq \theta_L$  - Studio delle fasi dell'onda riflessa quando  $\theta_0 > \theta_L$  - Rifrazione in un mezzo conduttore - Riflessione da una superficie conduttrice.

Appendice - Calcolo esplicito dei parametri relativi alle formule del Cap.4: Rifrazione in un mezzo conduttore e riflessione su una superficie conduttrice - Calcolo della fase  $\delta_{\perp}$  - Calcolo della fase  $\delta_{\parallel}$  - Calcolo esplicito della formula (4.6.11).

Lamine piane (Plane slabs) - Campo elettromagnetico riflesso e trasmesso - Coefficienti di riflessione e trasmissione - Applicazione ai mezzi dielettrici - Protezione di antenne - Modello fisico della riflettività di uno strato dielettrico - Riflessioni multiple - Lamina assorbente - Film sottile.

Plasma - Propagazione di onde elettromagnetiche in plasma omogeneo - Descrizione elettromagnetica dei plasmi - Calcolo dei parametri costitutivi - Propagazione di onde piane in un plasma omogeneo.

Propagazione di onde elettromagnetiche piane in mezzi anisotropi: Plasmi sottoposti a campi magnetici, ferriti magnetizzate e effetto Hall - Relazioni costitutive di un plasma sottoposto a campo magnetostatico - Propagazione di onde piane in un plasma sottoposto ad un campo magnetico - Propagazione longitudinale: Rotazione di Faraday - Propagazione in direzione ortogonale a  $\vec{B}_0$  - Proprietà di un mezzo ferrimagnetico - Relazioni costitutive di una ferrite magnetizzata - Propagazione di un'onda elettromagnetica piana in ferrite nella direzione longitudinale ossia parallela al campo magnetico statico applicato - Rotazione di Faraday - Effetto Hall.

Propagazione in un mezzo non omogeneo ed isotropo in approssimazione di frequenza molto alta - Propagazione di onde radio nella ionosfera - Equazioni d'onda per un mezzo non omogeneo - Formazione della ionosfera - Il sistema Terra - Sole - Finestra radio - Radiazione infrarossa - Trasmissione atmosferica della radiazione infrarossa - Assorbimento - Il Sole - Emissione di radioonde - La variazione della densità degli elettroni con l'altezza. Lo strato di Chapman - La struttura della ionosfera - Influenza della ionosfera sulla propagazione delle radioonde - Traiettoria dei raggi nella ionosfera.

Caratteristiche dispersive dei dielettrici e dei conduttori - Equazione del moto di un elettrone legato - Dispersione anomala e assorbimento di risonanza - Indice di rifrazione e coefficiente di assorbimento dell'acqua (liquida) in funzione della frequenza - Dispersione nei conduttori - Velocità di propagazione delle onde elettromagnetiche.

La teoria della radiazione - I potenziali elettromagnetici e trasformazioni di gauge - Soluzione dell'equazione d'onda non omogenea - La soluzione generale dell'equazione di Helmholtz - Derivazione del campo elettrico e del campo magnetico dai potenziali elettromagnetici.

Campo elettromagnetico irradiato da sorgenti elementari - Campi di radiazione - Elemento di corrente filiforme: dipolo elettrico hertziano - Potenza irradiata dal dipolo hertziano - Campi di radiazione o far fields - Linee di forza del campo elettrico irradiato da un dipolo hertziano - Radiazione emessa da una piccola spira percorsa da corrente monocromatica - Campi di radiazione.

Teoria delle antenne: I - Parametri di un'antenna - Diagramma di radiazione - Guadagno e direttività di un'antenna - Resistenza di radiazione ed efficienza di un'antenna -

Applicazione al caso del dipolo hertziano - Antenne rettilinee con corrente stazionaria - Campo di radiazione emesso dall'antenna rettilinea con corrente stazionaria - Deduzione dei campi di radiazione nell'approssimazione di antenna corta rispetto alla lunghezza d'onda - Antenne rettilinee con distribuzione di corrente progressiva; radiazione Čerencov - Campi di radiazione di un'antenna ad onda progressiva.

Teoria delle antenne: II - Sintesi di un diagramma di radiazione per mezzo dei polinomi di Hermite - Distribuzione di corrente in un'antenna rettilinea - Modello di Hallen e King.

Teoria dei sistemi di antenne rettilinee - Array di antenne a mezz'onda parallele - Studio dell'array factor nel caso di antenne equidistanziate - Studio dell'array factor nel caso di un sistema uniforme di antenne in fase - Studio dell'array factor nel caso di un sistema uniforme di antenne sfasate - Sistema di antenne rettilinee con distribuzione disuniforme di correnti - Sistema di antenne Dolph - Chebychev - Polinomi di Chebychev - Applicazione dei polinomi di Chebychev ai sistemi di antenne rettilinee - Considerazioni ulteriori e scanning elettronico - Sistema di antenne ad alta direttività - Rectangular array.

Calcolo della direttività di alcuni tipi di antenne - Direttività di un'antenna rettilinea con corrente sinusoidale - Direttività di sistemi di antenne.

Propagazione guidata delle onde elettromagnetiche: I - Formulazione elettromagnetica del problema - Espressioni delle condizioni al contorno per guide con pareti perfettamente conduttrici - Studio degli autovalori delle equazioni delle componenti longitudinali dei campi - Non esistenza dei modi corrispondenti a valori di  $h^2 = 0$  in guide con pareti perfettamente conduttrici a sezione semplicemente connessa - Esistenza dei modi *TEM* corrispondenti a valori di  $h^2 = 0$  in guide a pareti perfettamente conduttrici a sezione molteplicemente connessa - Struttura dei campi guidati con  $h^2 \neq 0$  - Guida metallica a sezione circolare - Ortogonalità fra il campo magnetico ed il campo elettrico di un'onda elettromagnetica guidata - Densità di correnti superficiali indotte sulle pareti di guide a pareti perfettamente conduttrici - Costante di propagazione - Frequenza critica - Ortogonalità dei modi.

Propagazione guidata delle onde elettromagnetiche: II - Velocità di fase e di gruppo dell'onda guidata - Lunghezza d'onda in guida - Guide d'onda rettangolari - Dispositivo di eccitazione del modo *TE*<sub>10</sub> - Calcolo delle componenti del campo e delle linee di forza in guide rettangolari - Significato fisico della velocità di gruppo per mezzo della teoria della relatività ristretta - Strutture guidanti a sezione molteplicemente connessa: propagazione *TEM* fra piani conduttori paralleli - Propagazione fra piani conduttori paralleli diversa dal modo *TEM* - Modo *TEM* in cavo coassiale.

Fibre ottiche e guide dielettriche - Introduzione - Modi guidati in fibre cilindriche rivestite - Soluzioni nel nucleo e nel mantello - Condizioni al contorno ed equazione di dispersione - Modi *TE* e *TM* - Frequenza di cutoff.

Appendice - Trasformazione dell'equazione di dispersione

Soluzione di alcuni problemi di elettrostatica e di magnetostatica - Sfera conduttrice posta in un campo elettrico uniforme - Campi e densità di carica entro angoli bidimensionali e lungo spigoli - Gabbia di Faraday a rete - Problemi di condizioni al contorno relativi a dielettrici - Sfera dielettrica posta in un campo elettrico uniforme - Problemi di condizioni al contorno di natura magnetica - Sfera magnetica posta in campo magnetico uniforme

in assenza di corrente superficiale - Schermaggio magnetico: strato sferico di materiale permeabile in un campo magnetico uniforme - Teoria di Rayleigh sull'azzurro del cielo.

Complementi di Campi elettromagnetici - Legge di Brewster dal punto di vista della teoria degli elettroni - Valutazione della pressione di radiazione esercitata da un'onda elettromagnetica piana su una parete perfettamente assorbente - Calcolo della potenza trasportata da un'onda elettromagnetica che si propaga in una guida d'onda rettangolare.

Formulario - Valori di alcune costanti e grandezze - Analisi vettoriale - Coordinate cartesiane - Coordinate cilindriche - Coordinate sferiche - Seno e coseno integrali per argomenti  $\pi x$ .

#### Bibliografia:

S.Barbarino - Appunti di Campi elettromagnetici.

J.Stratton - Teoria dell'elettromagnetismo, Boringhieri - Torino.

D.Jackson - Elettrodinamica classica, Zanichelli - Bologna.

G.Franceschetti - Campi elettromagnetici, Boringhieri - Torino.