

MATEMATICA (LB04)

(Lecce - Università degli Studi)

Insegnamento FISICA GENERALE II (MODULO A)

GenCod A005430

Docente titolare Pantaleo Davide
COZZOLI

Insegnamento FISICA GENERALE II (MODULO A)

Insegnamento in inglese PHYSICS II (PART A)

Settore disciplinare FIS/01

Corso di studi di riferimento
MATEMATICA

Tipo corso di studi Laurea

Crediti 6.0

Ripartizione oraria Ore Attività frontale: 42.0

Per immatricolati nel 2022/2023

Erogato nel 2024/2025

Anno di corso 3

Lingua

Percorso PERCORSO COMUNE

Sede Lecce

Periodo Primo Semestre

Tipo esame

Valutazione

Orario dell'insegnamento

<https://easyroom.unisalento.it/Orario>

BREVE DESCRIZIONE DEL CORSO

Il corso si propone di offrire una trattazione rigorosa dei fenomeni elettrici e magnetici stazionari nel vuoto, inquadrati nell'elettromagnetismo classico come "teoria di campo", ed offre un approccio metodologico alla risoluzione dei relativi problemi. Allo scopo le lezioni teoriche sono integrate con esercizi e problemi che permettono di comprendere le diversificate applicazioni delle nozioni proposte.

Il corso esordisce con l'introduzione del concetto di "campo" in fisica, richiamando gli strumenti matematici necessari alla rappresentazione e caratterizzazione delle proprietà di campi scalari e vettoriali, con enfasi sui campi conservativi e solenoidali. Vengono introdotte le nozioni di campo elettrico, potenziale elettrico e densità di energia del campo, per mezzo dei quali vengono analizzate le proprietà di distribuzioni di cariche statiche (distribuzioni di vario tipo allocate nel vuoto, su sistemi di conduttori (e condensatori) in equilibrio. Vengono trattati i fenomeni relativi al passaggio di corrente elettrica in conduttori ohmici e si forniscono gli strumenti per l'analisi di circuiti capacitivi in regime stazionario e quasi-stazionario. Si fornisce il concetto di campo magnetico e si descrivono le leggi che governano i fenomeni magnetostatici. Si condensano le leggi fondamentali individuate mediante le relative equazioni di Maxwell.

PREREQUISITI

Si richiede il possesso di nozioni di Analisi Matematica e Geometria I, II e III, con particolare riferimento all'algebra e all'analisi vettoriale; si richiede, inoltre, il superamento dell'esame di Fisica Generale 1.

OBIETTIVI FORMATIVI

Dopo il corso lo studente dovrebbe dimostrare di:

Conoscenze e comprensione: aver assimilato i concetti fondamentali dell'elettromagnetismo classico proposti ed il relativo approccio metodologico, avendo compreso le equazioni di Maxwell e le modalità della loro applicazione alla descrizione e all'interpretazione di processi e fenomeni elettrici e magnetici stazionari nel vuoto.

Capacità di applicare conoscenze e comprensione: essere in grado di risolvere problemi classici di elettrostatica, elettrodinamica (in regime stazionario) e magnetostatica nel vuoto, previa identificazione dei fenomeni fisici che intervengono nel problema. In particolare, lo studente dovrebbe:

- saper determinare i campi elettrici e magnetici generati da differenti distribuzioni di cariche statiche ed in moto (correnti continue).
- saper analizzare gli effetti ed i fenomeni energetici connessi con l'esistenza di campi elettrici e magnetici.
- saper risolvere circuiti in corrente continua a base di resistori e condensatori, sia in regime stazionario che transiente nell'ipotesi di quasi-stazionarietà

Autonomia di giudizio: essere in grado di analizzare autonomamente un fenomeno fisico di natura elettromagnetica con rigore scientifico e di stabilire quali leggi fondamentali lo governano;

Abilità comunicative: saper esprimere e discutere, con proprietà di linguaggio e con l'uso degli strumenti matematici opportuni, le principali nozioni teoriche alla base dell'elettromagnetismo classico.

Capacità di apprendimento: aver maturato un approccio metodologico rigoroso ed idoneo allo studio di diversificate nozioni e problematiche connesse con l'elettromagnetismo, propedeutico all'apprendimento autonomo di argomenti più avanzati, che non possono essere abbracciati dal programma del corso.

METODI DIDATTICI

Lezioni ed esercitazioni frontali, condotte mediante proiezioni di diapositive animate e/o spiegazioni alla lavagna. Agli studenti si raccomanda vivamente di prendere appunti personali durante le lezioni. Il docente guida gli studenti nella selezione del materiale per lo studio, reperibile nei testi consigliati, fornendo precise indicazioni in merito ai contenuti teorici e agli esercizi di consolidamento utili per la preparazione all'esame. Un estratto delle diapositive proiettate durante le lezioni sarà reso disponibile agli studenti al termine della trattazione di ogni gruppo omogeneo di argomenti. Il corso sarà complementato con 10 h di esercitazioni integrative, svolte dal docente titolare dell'insegnamento.

L'esame prevede due prove secondo le modalità di seguito indicate:

(1) una **prova scritta** finalizzata ad una verifica della capacità di applicare le nozioni teoriche alla risoluzione di tipici problemi di elettromagnetismo. La prova, della durata massima di 3 h, consiste nello svolgimento di 3-4 semplici problemi, analoghi a quelli discussi durante le lezioni del corso. Per sostenere la prova scritta, occorre prenotarsi presso l'apposito portale on-line. Durante la prova scritta sono consentiti soltanto l'uso di una calcolatrice scientifica e la consultazione di tavole di derivate/integrali notevoli. Non è permessa la consultazione di testi o di appunti relativi agli argomenti del corso.

La prova scritta si intende superata:

- **pienamente** se si consegue **punteggio $\geq 18/30$** ;

- **con riserva** se si consegue **$14/30 \leq \text{punteggio} \leq 17/30$** ;

Lo studente ha, in ogni caso, la facoltà di rinunciare alla votazione conseguita e di ripresentarsi a sostenere una nuova prova scritta in un appello successivo.

In generale, si raccomanda di sostenere l'eventuale prova orale nello stesso appello in cui si è sostenuta la prova scritta; tuttavia, su richiesta dello studente, la prova orale potrà essere posticipata fino, al massimo, al secondo appello immediatamente successivo a quello in cui si è sostenuta la prova scritta (incluso, nel computo, gli appelli delle sessioni straordinarie di Ottobre-Novembre 2024 e Marzo-Aprile 2025): l'eventuale verbalizzazione dell'esame superato avverrà, di conseguenza, in occasione del primo appello utile allo scopo.

(2) una **prova orale**, finalizzata ad una verifica della conoscenza delle nozioni teoriche dell'insegnamento. Gli studenti che avranno superato la *prova scritta con riserva* saranno chiamati a svolgere preliminarmente uno o più semplici esercizi assegnati sul momento dal docente; successivamente, la prova riguarderà la verifica dei contenuti teorici. .

- Gli studenti, che non supereranno la prova orale, potranno sostenere nuovamente la prova al massimo una seconda volta in un appello successivo. In caso di esito negativo, lo studente dovrà ripresentarsi a sostenere una nuova prova scritta in altro appello.

Non sono previste prove d'esame intermedie ("esoneri").

L'ELETTROMAGNETISMO CLASSICO COME TEORIA DI CAMPO - Richiami di elementi di teoria dei campi

Introduzione: l'elettromagnetismo classico come teoria di campo.

Campi (fisici) scalari: definizione; rappresentazione mediante curve di livello; operatori differenziali del primo ordine: derivata direzionale, vettore gradiente; relazione geometrica fra vettore gradiente e superficie di livello; integrali di linea, di superficie e di volume di un campo scalare e relativi significati fisici (con riferimento al caso dei campi "densità").

Campi (fisici) vettoriali: definizione, rappresentazione mediante linee di flusso; tubi di flusso; punti singolari e discontinuità di campo; sorgenti scalari e vettoriali. Dominio di definizione e proprietà topologiche. Operatori differenziali del primo ordine: rotore e divergenza. Integrale di volume di un campo vettoriale. Integrale di linea (circolazione, circuitazione) di un campo vettoriale e relativo significato fisico. Superfici orientabili; convenzioni per l'orientamento di una superficie aperta e chiusa. Integrale di superficie (flusso) di un campo vettoriale. Flusso concatenato. Significato fisico del flusso (con riferimento al contesto della fluidodinamica). Relazione fra flusso e sorgenti scalari del campo.

Teorema del rotore (o di Stokes): definizione geometrica del rotore. Significato fisico del rotore (con riferimento al contesto della fluidodinamica). Esempi di campi vettoriali caratterizzati da rotore nullo e non-nullo.

Teorema della divergenza (o di Gauss-Green); definizione geometrica della divergenza di un campo vettoriale. Significato fisico della divergenza (con riferimento al contesto della fluidodinamica). Esempi di campi vettoriali caratterizzati da divergenza nulla e non-nulla. Analisi qualitativa dell'andamento locale di un campo vettoriale, basata sulla conoscenza della divergenza e del rotore del campo: esempi.

Campi conservativi e loro proprietà globali (integrali). Linee di flusso di un campo conservativo. Funzione potenziale (scalare). Superficie equipotenziali. Proprietà locali (differenziali) di un campo conservativo: vettore gradiente del potenziale e sue proprietà; irrotazionalità. Campi irrotazionali conservativi.

Campi solenoidali e loro proprietà globali (integrali). Linee di forza di un campo solenoidale. Proprietà locali (differenziali) di un campo solenoidale: divergenza nulla. Campi indivergenti solenoidali.

ELETTROSTATICA NEL VUOTO

Carica elettrica e legge di Coulomb.

Fenomeni elettromagnetici naturali. Elettromagnetismo classico: cenni storici, dominio di validità e limiti. Tribolellettricità. Struttura elettrica e composizione della materia. La forza elettromagnetica nel contesto della fisica moderna. Elettrostatica: scopi e contenuti. Legge di Coulomb. Misura della forza elettrostatica. Definizione operativa della carica elettrica e sua unità di misura. Costante dielettrica del vuoto. "Confronto" fra la forza coulombiana e la forza gravitazionale. Proprietà della carica elettrica. Legge di conservazione della carica elettrica. Sistemi di carica discreti e continui. Caratterizzazione di una distribuzione di carica mediante la funzione densità di carica. Principio di sovrapposizione e sua applicazione alla determinazione analitica della forza elettrostatica scambiata fra sistemi discreti e continui di cariche.

Campo elettrico (statico). Limiti della legge di Coulomb e del concetto di "azione a distanza". Campo elettrico (statico): definizione e significato fisico. Interazione fra cariche elettriche nel contesto della teoria campistica. Unità di misura. Campo elettrostatico generato da una carica puntiforme. Principio di sovrapposizione e sua applicazione alla determinazione analitica del campo elettrostatico generato da configurazioni di cariche discrete e continue (con interruzioni o cavità). Rappresentazione di un campo vettoriale mediante linee di forza; punti di discontinuità.

Legge di Gauss. Angolo solido. Flusso elementare del campo elettrostatico e sue proprietà. Calcolo del flusso elettrostatico attraverso una superficie chiusa a partire dalla legge di Coulomb: "teorema di Gauss". Osservazioni sul "teorema di Gauss". Legge di Gauss in forma integrale (prima equazione

elettrostatico nel vuoto. Derivazione della legge di Coulomb dalla legge di Gauss. Applicazione della legge di Gauss al calcolo del campo elettrostatico generato da varie distribuzioni di carica continue con elevato grado di simmetria. Formulazione differenziale (locale) della legge di Gauss (prima equazione di Maxwell in forma differenziale) e sua interpretazione fisica. Applicazione della legge di Gauss in forma differenziale alla determinazione della distribuzione della carica contenuta in specificate regioni dello spazio (con particolare riferimento a distribuzioni continue con elevato grado di simmetria).

Energia potenziale elettrostatica; potenziale elettrostatico; energia del campo elettrico. Lavoro della forza elettrostatica: definizione e significato fisico. Conservatività della forza coulombiana: espressione integrale e differenziale. Conservatività del campo elettrostatico: espressione integrale e differenziale (seconda equazione di Maxwell per l'elettrostatica).

Energia potenziale elettrostatica (di posizione) di una carica puntiforme interagente con un sistema discreto o continuo di cariche: espressione e significato fisico. Relazione differenziale fra energia potenziale elettrostatica e forza coulombiana: proprietà del vettore gradiente della funzione energia potenziale. Superfici equipotenziali (per una carica puntiforme). Calcolo dell'energia potenziale elettrostatica (di posizione) di sistemi discreti e continui di cariche. Precisazioni sulla scelta dell'energia potenziale di riferimento (in presenza di sistemi di cariche con estensione all'infinito). Potenziale elettrostatico: definizione e significato fisico. Unità di misura. Potenziale generato da una carica puntiforme. Espressione del potenziale generato da sistemi discreti e continui di cariche. Precisazioni sulla scelta del potenziale di riferimento (in presenza di sistemi di cariche con estensione all'infinito). Relazione differenziale fra potenziale elettrostatico e campo elettrostatico: proprietà del vettore gradiente della funzione potenziale. Superfici equipotenziali. Rappresentazione del campo elettrostatico mediante linee di flusso e superfici equipotenziali. Calcolo dell'energia potenziale di sistemi arbitrari di cariche a partire dalla conoscenza del potenziale ivi agente. Energia potenziale elettrostatica totale di sistemi discreti e continui di cariche: energia di posizione vs. energia interna. Contributi all'energia elettrostatica interna di un sistema: energia di configurazione ed auto-energia. Densità di energia del campo elettrico e sua localizzazione. Energia di una carica puntiforme (cenni).

Conservazione dell'energia meccanica in presenza di forze elettrostatiche (richiamo).

Dipolo elettrico. Dipolo elettrico. Momento di dipolo. Unità di misura. Potenziale e campo elettrostatico generati da un dipolo a grande distanza (approssimazione di dipolo puntiforme). Energia potenziale di un dipolo puntiforme in un campo elettrostatico. Analisi delle forze agenti su un dipolo in un campo elettrostatico: moto di rototraslazione. Momento meccanico agente su un dipolo: derivazione per via energetica e dinamica. Espressione della forza di trascinamento agente su un dipolo puntiforme: derivazione per via dinamica e per via energetica.

Sviluppo del potenziale in serie di multipoli. Momento di dipolo di un sistema discreto e continuo di cariche e suo significato fisico. Momento di dipolo di una distribuzione neutra. Sviluppo della funzione potenziale in serie di multipoli. Calcolo del potenziale e campo elettrostatico generati da un'arbitraria distribuzione di cariche nella "approssimazione di dipolo".

Conduttori. Mezzi conduttori. Modello di Drude-Lorentz per un conduttore metallico. Induzione elettrostatica. Proprietà di conduttori metallici in equilibrio elettrostatico: distribuzione delle cariche; andamento del campo elettrostatico e del potenziale all'interno, all'esterno ed in prossimità della superficie (teorema di Coulomb); effetto della curvatura sul campo e sulla pressione elettrostatica agente alla superficie; applicazioni (cenni). Proprietà di conduttori con cavità in equilibrio elettrostatico. Effetto schermo elettrostatico. Messa a terra; potenziale di terra come riferimento e relativa convenzione.

Energia elettrostatica di un conduttore isolato carico. Energia elettrostatica di un sistema di conduttori in equilibrio. Capacità elettrica di conduttori isolati: definizione, calcolo, significato fisico ed unità di misura.

Condensatori. Capacità di sistemi di conduttori in configurazione di induzione parziale e completa. Condensatore: definizione. Capacità elettrica di un condensatore: definizione, calcolo, significato fisico ed unità di misura. Condensatori sferici, cilindrici e piani ideali. Energia potenziale

elettrostatica (lavoro di caricamento) di sistemi di conduttori carichi. Lavoro di caricamento di un condensatore (energia elettrostatica immagazzinata). Reti di condensatori: capacità equivalente per collegamenti in serie ed in parallelo; analisi di collegamenti di condensatori non riconducibili a collegamenti in serie e/o parallelo. Energia immagazzinata in reti di condensatori.

CORRENTI CONTINUE

Legge di Ohm, resistenza elettrica, forza elettromotrice. Corrente elettrica: definizione. Vettore densità di corrente. Correnti stazionarie (continue). Equazione di continuità per la carica elettrica. Meccanismo microscopico della conduzione elettrica: modello di Drude-Lorentz e velocità di deriva. Legge di Ohm in forma locale ed integrale: resistenza elettrica. Distribuzioni di carica statica in conduttori ohmici percorsi da corrente. Forza elettromotrice: definizione e proprietà. Legge di Ohm generalizzata. Legge di Joule e bilancio energetico in circuiti resistivi.

Circuiti in corrente continua. Circuiti: componenti, generalità. Leggi di Kirchhoff. Collegamenti di resistori in serie e parallelo. Reti di resistori non riconducibili a collegamenti in serie e/o parallelo. Risoluzione di reti circuitali complesse a base di generatori e resistori in corrente continua.

Correnti quasi-stazionarie. Generalità. Collegamento di resistenze e condensatori: analisi dei processi di carica e scarica in circuiti RC in regime transiente, e relativi bilanci energetici. Risoluzione di circuiti RC in regime transiente ed in condizioni di equilibrio

MAGNETOSTATICA NEL VUOTO

Interazioni magnetiche e campo magnetico. Interazioni elettriche e magnetiche fra cariche puntiformi in moto (nel vuoto): legge di Ampere-Biot-Savart (Forza di Lorentz generalizzata). Permeabilità magnetica del vuoto. Caratteristiche della forza magnetica. Confronto fra la forza elettrica e forza magnetica scambiate fra cariche puntiformi in moto. Apparente violazione del Terzo Principio della Dinamica. Forza magnetica scambiata fra distribuzioni di carica in moto.

Campo magnetico (nel vuoto): definizione operativa; dimensioni, unità di misura; Campo magnetico generato da una carica puntiforme in moto e sue proprietà. Campo magnetico generato da una distribuzione di carica continua in moto e forza di Lorentz esercitata su sistemi di cariche in moto in un campo magnetico.

Effetti della forza di Lorentz: moto di una carica elettrica in un campo magnetico; applicazione combinata di campi magnetici ed elettrici a particelle cariche in moto (selettori di velocità e carica/massa); effetto Hall.

Magnetostatica. Forza magnetica agente su un conduttore di geometria arbitraria percorso da corrente stazionaria in un campo magnetostatico. Azioni magnetiche esercitate su conduttori/circuiti filiformi percorsi da corrente stazionaria: 2a Legge (Formula) Elementare di Laplace e calcolo della forza agente su conduttori di geometria arbitraria in un campo magnetostatico;

Azioni meccaniche esercitate su una spira percorsa da corrente stazionaria in un campo magnetostatico uniforme; energia potenziale meccanica di una spira; momento (di dipolo) magnetico (dal caso limite di una spira puntiforme a quello di una spira di geometria arbitraria). Principio di equivalenza di Ampere (parte I): equivalenza fra le azioni meccaniche subite da una spira percorsa da corrente stazionaria in un campo magnetostatico uniforme e le azioni meccaniche subite da un ago (dipolo) magnetico.

Conduttori metallici percorsi da corrente come sorgenti di campo magnetici. 1a Legge (formula) Elementare di Laplace (o Legge di Biot-Savart): calcolo del campo magnetostatico generato da distribuzioni arbitrarie di correnti stazionarie (filiformi, spiriformi, laminari, ecc.). Principio di equivalenza di Ampere (parte II): Equivalenza fra il campo magnetostatico generato da una spira percorsa da corrente stazionaria a grande distanza ed il campo magnetostatico prodotto da un ago (dipolo) magnetico

Leggi del campo magnetico stazionario. Legge di Gauss per il campo magnetico: formulazione integrale e differenziale (prima equazione di Maxwell per il campo magnetico). Deduzione della legge di Ampere dalla 1a Legge Elementare di Laplace. Circuitazione del campo magnetostatico

generato da correnti stazionarie: Legge di Ampere in forma integrale e differenziale e suoi limiti di validità (seconda equazione di Maxwell per il campo magnetico stazionario). Applicazione della legge di Ampere alla determinazione del campo magnetostatico generato da configurazioni di correnti stazionarie con elevato grado di simmetria: conduttori filiformi rettilinei e cilindrici di lunghezza infinita; bobine solenoidali ideali; lamine infinitamente estese.

TESTI DI RIFERIMENTO

Testi di riferimento

Teoria

- **L. Guerriero: "Lezioni di Elettromagnetismo" (Adriatica Editore)**
- **S. Focardi, I. Massa, A. Uguzzoni: "Fisica Generale - Elettromagnetismo" (Casa Editrice Ambrosiana, Milano)**
- P. Mazzoldi, N. Nigro, Voci: "Fisica - Volume II: Elettromagnetismo, Onde" (Edises)
- C. Mencuccini, V. Silvestrini: "Elettromagnetismo e Ottica" (Casa Editrice Ambrosiana)

Esercizi

- **L. Mistura, N. Sacchetti: "PROBLEMI DI FISICA - Elettromagnetismo ed Ottica" (Edizioni KAPPA)**
- **C. Mencuccini, V. Silvestrini: "Esercizi di Fisica - Elettromagnetismo e Ottica" (Casa Editrice Ambrosiana)**
- **M. Nigro, C. Voci: "Problemi di Fisica Generale - Elettromagnetismo. Ottica" (Edizioni Libreria Cortina)**
- E. Borchì, R. Nicoletti: "Elettromagnetismo - Volume I : Elettrocità" + "Elettromagnetismo - Volume II: Magnetismo" (Società Editrice Esculapio)
- P. Zotto, M. Nigro: "Problemi di Fisica Generale - Elettromagnetismo. Ottica" (Edizioni LaDotta)
- A. Alippi, A. Bettucci, M. Germano: "Fisica Generale - Esercizi risolti e guida allo svolgimento con richiami di teoria" (Società Editrice Esculapio)