

# 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** 2019/2020

**Erogato nel** 2021/2022

**Anno di corso** 3

**Lingua** ITALIANO

**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 propone un'ampia e rigorosa panoramica 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 il programma è integrato da esercizi che permettono di comprendere le diversificate applicazioni delle nozioni teoriche 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 riassumono 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, ed 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

Le lezioni e le necessarie esercitazioni verranno condotte mediante proiezione di diapositive animate, un estratto delle quali potrà essere reso eventualmente disponibile agli studenti durante il corso. Il docente guiderà 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.

---

## MODALITA' D'ESAME

L'esame prevede due prove, entrambe obbligatorie:

(1) una prova scritta, della durata di 2.5-3 h, che consiste nello svolgimento di 3-4 problemi (uno dei quesiti potrebbe riguardare l'esposizione/discussione di un argomento di teoria).

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 validità della prova scritta, se superata positivamente, si estende ai due appelli immediatamente successivi a quello in cui si è sostenuta la suddetta prova (includendo, nel computo, gli appelli delle sessioni straordinarie di Marzo-Aprile 2021 ed ottobre-Novembre 2021): l'eventuale verbalizzazione dell'esame superato avverrà, di conseguenza, in occasione del primo appello utile allo scopo.

(2) una prova orale (a cui lo studente accede solo in caso di superamento della prova scritta), finalizzata ad una verifica della conoscenza delle nozioni teoriche proposte. In caso di esito negativo, la prova orale potrà essere sostenuta al massimo una seconda volta nell'appello successivo; in caso di mancato superamento della prova orale per la seconda volta, lo studente dovrà ripresentarsi a sostenere una nuova prova scritta.

**L'ELETTROMAGNETISMO CLASSICO COME TEORIA DI CAMPO - Elementi di teoria dei campi**

Richiami di algebra vettoriale: operazioni con vettori e scalari (prodotto di uno scalare per un vettore; quoziente un vettore ed uno scalare; somma, differenza, prodotto scalare e vettoriale di vettori) e loro proprietà.

Funzioni scalari: definizione, derivate (semplici e parziali); integrali semplici, doppi e tripli (o di volume).

Campi scalari: definizione, rappresentazione mediante curve di livello; operatori differenziali del primo ordine: derivata direzionale, gradiente; integrali di linea, di superficie e di volume (o tripli) di un campo scalare.

Funzioni vettoriali: definizione, derivate (semplici e parziali); regole di derivazione di funzioni vettoriali; scomposizione della derivata di un vettore; derivata di un vettore di modulo costante; derivata di un versore; integrali semplici, doppi e tripli (o di volume).

Campi vettoriali e loro rappresentazione mediante linee di flusso; tubi di flusso; punti singolari e discontinuità di campo. Tipologie di dominio di definizione di un campo. Operatori differenziali del primo ordine: rotore, divergenza. Integrali semplici, doppi e tripli (di volume). Linee orientate e loro parametrizzazione; integrali di linea (circolazione, circuitazione) e relativo significato fisico. Superfici orientabili; convenzioni per l'orientamento di una superficie; integrale di superficie (flusso) attraverso una superficie aperta e chiusa, e relativo significato fisico. Flusso concatenato.

Campi conservativi: definizione e proprietà. Funzione potenziale (scalare). Espressione in forma integrale della conservatività di un campo: invarianza della circolazione, circuitazione. Vettore gradiente (del potenziale) e sue proprietà. Superfici equipotenziali. Caratteristiche delle linee di forza di un campo conservativo e loro deduzione. Rotore di un vettore: definizione e significato fisico. Teorema del rotore (o di Stokes). Campi irrotazionali. Espressione in forma differenziale (locale) della conservatività di campo: circolazione elementare, circuitazione specifica ed irrotazionalità. Condizioni per la conservatività di un campo irrotazionale.

Campi solenoidali: definizione e proprietà. Espressione in forma integrale della solenoidaleità di un campo: flusso attraverso una superficie chiusa, invarianza del flusso concatenato; costanza del flusso attraverso le sezioni di un tubo di flusso. Caratteristiche delle linee di forza e loro deduzione. Potenziale vettore. Divergenza di un vettore: definizione e significato fisico. Teorema della divergenza (o di Gauss-Green): enunciato e dimostrazione. Campi indivergenti. Divergenza di un campo solenoidale. Espressione in forma differenziale (locale) della solenoidaleità di campo: flusso specifico, rotazionalità, ed indivergenza. Condizioni per la solenoidaleità di un campo indivergente. Operatori differenziali del secondo ordine: operatore laplaciano; equazioni di Poisson e Laplace scalari e vettoriali; funzioni armoniche.

Campi vettoriali armonici (cenni).

Uso formale degli operatori differenziali: identità vettoriali.

Ricostruzione di un campo vettoriale a partire dalla conoscenza della divergenza e del rotore del campo (teorema di Helmholtz in forma differenziale): esempi di campi caratterizzati da divergenza nulla, da rotore nullo, e da divergenza e rotore non nulli.

L'elettromagnetismo classico come teoria di campo: formulazione integrale e differenziale (locale) delle sue leggi fondamentali.

**ELETTROSTATICA NEL VUOTO**

**Carica elettrica e legge di Coulomb.** Elettrostatica: scopi e contenuti. Triboletticità. Proprietà della carica elettrica. Unità di misura. Legge di conservazione della carica elettrica. Funzione densità di carica. Configurazioni di carica discrete e continue. Legge di Coulomb. Principio di sovrapposizione e sua applicazione alla determinazione analitica della forza scambiata fra sistemi discreti e continui di cariche (distribuite su segmenti, fili rettilinei, anelli, corone e settori circolari, dischi, piani, superfici sferiche, ed entro gusci sferici/cilindrici, volumi sferici e cilindrici).

**Campo elettrico (statico).** Campo elettrico (statico): definizione e significato fisico; relazione fra i concetti di campo, sorgente di campo, carica di prova, e forza agente sulla carica di prova. Unità di misura. Rappresentazione mediante linee di forza. Principio di sovrapposizione e sua applicazione alla determinazione analitica del campo elettrostatico generato da configurazioni discrete e continue di cariche (distribuite su segmenti, fili rettilinei, anelli, corone e settori circolari, dischi, piani, superfici sferiche, ed entro gusci sferici/cilindrici, volumi sferici e cilindrici.)

**Legge di Gauss.** Angolo solido. Flusso del vettore campo elettrico. Unità di misura. Legge di Gauss in forma integrale (prima equazione di Maxwell in forma integrale). Verifica (derivazione) della legge di Gauss a partire dalla Legge di Coulomb (teorema di Gauss). Applicazione della legge di Gauss al calcolo del campo elettrostatico generato da varie distribuzioni di carica continue con elevato grado di simmetria. Derivazione della legge di Coulomb dalla legge di Gauss. Discontinuità del campo elettrostatico. Formulazione differenziale (locale) della legge di Gauss (prima equazione di Maxwell in forma differenziale). Assenza di punti d'equilibrio in un campo elettrostatico nel vuoto. Applicazione della legge di Gauss in forma differenziale alla determinazione della carica contenuta in specificate regioni dello spazio (con particolare riferimento a distribuzioni continue con elevato grado di simmetria).

**Energia potenziale elettrostatica; potenziale elettrico; energia del campo elettrico.** Richiamo dei concetti di: lavoro di una forza, forze conservative, funzione energia potenziale. Dimensioni, unità di misura. Conservatività della forza coulombiana. Energia potenziale elettrostatica (di posizione). Relazione differenziale (locale) fra energia potenziale elettrostatica e forza coulombiana: proprietà del vettore gradiente della funzione energia potenziale. Calcolo dell'energia potenziale elettrostatica (di posizione) di sistemi discreti e continui di cariche. Conservatività del campo elettrostatico: espressione in forma integrale e differenziale (terza equazione di Maxwell per l'elettrostatica). Potenziale elettrostatico. Unità di misura. Relazione differenziale (locale) fra potenziale elettrostatico e campo elettrostatico: proprietà del vettore gradiente della funzione potenziale. Approcci per la determinazione del potenziale generato da sistemi discreti e continui di cariche. Superfici equipotenziali. Rappresentazione del campo elettrostatico mediante linee di forza e superfici equipotenziali. Conservazione dell'energia (meccanica) in presenza di forze elettrostatiche. Energia potenziale elettrostatica di configurazione di distribuzioni discrete e continue di cariche. Auto-energia. Densità di energia del campo elettrico e sua localizzazione. Energia di una carica puntiforme. Raggio classico dell'elettrone (cenni).

Equazioni di Poisson e Laplace per il potenziale elettrostatico. Soluzioni dell'equazione di Laplace: caratteristiche del potenziale elettrostatico come funzione armonica (teorema della "media"). Assenza di punti d'equilibrio in un campo di potenziale (elettrostatico) nel vuoto.

**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), espressi in diversi sistemi di coordinate. Energia potenziale di un dipolo puntiforme in un campo elettrostatico.

Analisi delle forze agenti su un dipolo in un campo elettrico: rotazione e trascinamento. Relazione fra le forze agenti su un dipolo e la sua energia potenziale. Derivazione dell'espressione del momento meccanico agente su un dipolo per via energetica e dinamica.

**Sviluppo del potenziale in serie di multipoli.** Momento di dipolo di una distribuzione di carica (discreta o continua). Sviluppo del potenziale in serie di multipoli. Calcolo del potenziale e del campo elettrostatico nella "approssimazione di dipolo".

**Conduttori.** Mezzi conduttori. Conduttori metallici e modello del gas elettronico. Induzione elettrostatica parziale e completa. Proprietà di conduttori metallici in equilibrio elettrostatico: distribuzione delle cariche; potenziale e campo elettrostatico all'interno e sulla superficie (teorema di Coulomb); pressione elettrostatica agente sulla superficie; effetto della curvatura; applicazioni (cenni). Proprietà di conduttori con cavità in equilibrio elettrostatico. Effetto schermo elettrostatico. Potenziale di terra come riferimento e relativa convenzione. Metodo della "carica immagine".

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

**Condensatori.** Capacità di sistemi di conduttori in configurazione di induzione parziale e completa; coefficienti di capacità e coefficienti di induzione. 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; non-conservatività del campo elettromotore. Legge di Ohm generalizzata. Collegamenti di resistori in serie e parallelo. Reti di resistori non riconducibili a collegamenti in serie e/o parallelo. Reti di resistori non riconducibili a collegamenti in serie e/o parallelo. Bilancio energetico in circuiti resistivi: potenza erogata da un generatore e trasferita al campo elettrico; potenza dissipata per effetto Joule.

**Circuiti in corrente continua** Circuiti: componenti, generalità. Prima Legge di Kirchhoff e sua derivazione dal principio di conservazione della carica elettrica. Seconda Legge di Kirchhoff e sua interpretazione in termini di bilancio energetico e conservatività del campo elettrico stazionario in circuiti in corrente continua. Risoluzione di reti circuitali complesse a base di generatori e resistori in corrente continua (regola di Maxwell).

**Circuiti RC** 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

## INTERAZIONI MAGNETICHE NEL VUOTO

**Interazioni magnetiche e campo magnetico.** Fenomenologia delle interazioni magnetiche nel vuoto coinvolgenti cariche in moto, magneti naturali e conduttori percorsi da corrente elettrica. Interazioni elettriche e magnetiche fra cariche puntiformi in moto (nel vuoto): legge di Ampere-Biot-Savart. 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 esercitata da una distribuzione di carica continua in moto su una carica puntiforme 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 su una carica puntiforme in moto e forza totale ivi agente. Forza di Lorenz generalizzata agente su una carica puntiforme; forza agente su un'arbitraria distribuzione di carica in moto in un campo magnetico.

Moto di cariche elettriche in campi magnetici. Applicazione combinata di campi magnetici ed elettrici a particelle cariche in moto: selettori di velocità e carica/massa; effetto Hall.

**Magnetostatica.** Conduttori metallici percorsi da corrente come sorgenti di campo magnetici. Forza magnetica agente su un conduttore percorso da corrente in un campo magnetostatico. Azioni magnetiche esercitate da/subite da 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; 1a Legge (formula) Elementare di Laplace (o Legge di Biot-Savart) e calcolo del campo magnetostatico generato da distribuzioni arbitrarie di correnti stazionarie (filiformi, spiriformi, laminari).

Forza magnetica e momento meccanico agenti su una spira piana percorsa da corrente stazionaria

in un campo magnetostatico uniforme; energia potenziale meccanica della spira; momento (di dipolo) magnetico. Caso limite di una spira puntiforme. Azioni meccaniche esercitate su una spira non planare in un campo magnetico uniforme. Principio di equivalenza di Ampere: (parte I) equivalenza fra le azioni meccaniche subite da una spira puntiforme (e le azioni meccaniche subite da una spira macroscopica immersa in un campo magnetostatico uniforme) e le azioni meccaniche subite da un ago (dipolo) magnetico in un campo magnetostatico; (parte II) equivalenza fra il campo magnetostatico generato da una spira puntiforme (e fra il campo magnetostatico generato da una spira macroscopica a grande distanza) ed il campo magnetostatico prodotto da un ago magnetico con identico momento di dipolo.

**Leggi del campo magnetico.** Legge di Gauss per il campo magnetico: formulazione integrale e differenziale (seconda equazione di Maxwell). Circuitazione del campo magnetostatico generato da correnti stazionarie: Legge di Ampere in forma integrale e differenziale (terza equazione di Maxwell per la magnetostatica) e suoi limiti di validità. Verifica della legge di Ampere a partire dalla 1a Legge Elementare di Laplace. Applicazione della legge di Ampere alla determinazione del campo magnetostatico generato da configurazioni di correnti stazionarie con elevato grado di simmetria: conduttori cilindrici, bobine solenoidali e toroidali, lamine infinitamente estese. Potenziale magnetostatico e sue applicazioni.

### **EQUAZIONI FONDAMENTALI DELL'ELETTROMAGNETISMO per i FENOMENI ELETTRICI E MAGNETICI STAZIONARI NEL VUOTO: RIEPILOGO**

Riepilogo delle equazioni fondamentali dell'elettromagnetismo classico e concettualizzazione: equazioni di Maxwell in forma integrale e differenziale, forza di Lorentz generalizzata, ed equazione di continuità.

---

#### 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)**
- C. Mencuccini, V. Silvestrini: "Elettromagnetismo e Ottica" (Casa Editrice Ambrosiana)

##### **Esercitazioni**

- **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)**
- E. Borchì, R. Nicoletti: "Elettromagnetismo - Volume I : Elettrocità" + "Elettromagnetismo - Volume II: Magnetismo" (Società Editrice Esculapio)
- B. Ghidini, F. Mitrotta: "Problemi di elettromagnetismo" (Adriatica Editrice, Bari)
- M. Nigro, C. Voci: "Problemi di Fisica Generale - Elettromagnetismo. Ottica" (Edizioni Libreria Cortina, Padova)