

## Programma per il Corso di Elettromagnetismo 2019-20

**M-S:** Mencuccini – Silvestrini : Fisica II – Elettromagnetismo – Ottica. Le indicazioni si riferiscono alla 3<sup>a</sup> edizione. (Non ci sono differenze dalle edizioni precedenti). Gli esempi indicati sono ritenuti argomento di lezione, gli altri sono lasciati alla buona volontà dello studente.

**Per semplificare lo studio di alcuni argomenti si rimanda agli appunti che si trovano sul sito del corso.**

### **Elettrostatica nel vuoto - 1.**

Il fenomeno dell'elettricità. Forze tra le cariche. Carica elementare, nucleo, atomo. Isolanti e conduttori. Induzione elettrostatica. / Elettroscopio a foglie. Legge di Coulomb. Unità di misura. Campo elettrico da una carica puntiforme. Linee di campo. Campo elettrico. Campo da distribuzione di cariche. Flusso di un campo vettoriale. Teorema di Gauss. Campo elettrico da una distribuzione uniforme di carica su un filo infinito: calcolo diretto e dal teorema di Gauss. Teorema della divergenza. I<sup>a</sup> equazione di Maxwell. Operatore nabla. Potenziale elettrostatico da una carica puntiforme. Potenziale elettrostatico da una distribuzione di cariche. Unità di misura. Operatore gradiente, componenti in coordinate cartesiane e sferiche. Proprietà. Dipolo elettrico. Potenziale da un dipolo elettrico. Azioni meccaniche su un dipolo elettrico posto in un campo elettrico. Sviluppo in serie di multipoli. Operatore rotore, teorema di Stokes. Rotore del campo elettrico.

**M-S** Cap. I: I.1-12. Per il paragrafo I.11 si vedano appunti del docente sul sito. Esempi: E.I.7, E.I.8, (E.I.9 suggerito), E.I.11, E.I.12, E.I.13, E.I.19, E.I.20, E.I.21, E.I.22, E.I.24, E.I.25. Il paragrafo I.13 – non trattato a lezione - è di approfondimento.

### **Elettrostatica nel vuoto - 2.**

Conduttori, campo elettrico, distribuzione delle cariche in un conduttore. Teorema di Coulomb. Campo all'interno di un conduttore, schermo elettrostatico. Sistema di più conduttori. Coefficienti di potenziale, matrice di capacità. Condensatore, capacità di un condensatore. Capacità di un condensatore piano, sferico, cilindrico. Energia elettrostatica, energia di un sistema di cariche, energia propria elettrostatica. Densità di energia del campo elettrostatico. Energia elettrostatica in un condensatore. Pressione elettrostatica. Forze elettrostatiche. Equazione di Poisson. Il problema generale dell'elettrostatica. Metodo delle cariche immagine.

**M-S** Cap. II: II.1-6 (si escluda l'ultima parte del 5), II.8. Esempi: E.II.1, E.II.2, E.II.3, E.II.4, E.II.5, E.II.6 (esempio istruttivo), E.II.7, E.II.8, E.II.9, E.II.13., E.II.15, E.II.16, E.II.22, E.II.23. Per il metodo delle cariche immagini (carica puntiforme con piano conduttore e con sfera conduttrice si veda anche appunti in rete). Per forza elettrostatica su conduttori, forza a carica costante e a potenziale costante vedi cap. VII.7.1 oppure appunti del docente sul sito.

### **Elettrostatica in presenza di dielettrici.**

Introduzione ai dielettrici. Cariche localizzate e cariche di polarizzazione. Polarizzazione per deformazione. Modello semplice. Polarizzazione per orientamento. Funzione di Langevin. Il vettore polarizzazione elettrica, suscettività dielettrica, relazione di Clausius-Mossotti. Equazioni elettrostatica in presenza di dielettrici. Vettore spostamento elettrico. Problema dell'elettrostatica in presenza di dielettrici perfetti e isotropi. Relazioni di continuità sulle superfici di separazione. Rigidità dielettrica. Energia elettrostatica in presenza di dielettrici.

**M-S** Cap. III: III.1-7 (La funzione di Langevin è stata ricavata senza approssimazione, vedi calcoli Cap.VI.6.3 dove è riferita al momento di dipolo magnetico proprio). Esempi: E.III.1, E.III.2., E.III.3 (suggerito), E.III.4-13.

### **Correnti continue.**

Conduttori. Corrente elettrica. Velocità termica e velocità di deriva degli elettroni in un conduttore metallico. Vettore densità di corrente elettrica. Equazione di continuità. Prima legge di Kirchhoff. Seconda legge di Kirchhoff. Legge di Ohm. Effetto Joule. Generatori elettrici. Campo elettromotore. Forza elettromotrice. Generatore elettrico, resistenza interna. Rete elettrica. Parallelo e serie di resistenze. Cenni sul passaggio di corrente nei gas. Seconda legge di Kirchhoff per le maglie. Circuiti in regime quasi stazionario: carica e scarica di un condensatore.

**M-S** Cap. IV: IV.1-5; IV.6 (fino formula IV.35), IV.8, IV-12, IV-15. Si suggerisce la lettura dei paragrafi IV.11 e 13. Esempi: E.IV.1, E.IV.2, E.IV.3, E.IV.9-10, E.IV.23-27.

### **Campo magnetico nel vuoto.**

Introduzione al magnetismo. Campo di induzione magnetica. Seconda legge di Laplace. Forza di Lorentz. Esempi di applicazioni della forza di Lorentz: selettore di velocità, spettrometro di massa, sincrotrone, ciclotrone, bottiglia magnetica, intrappolamento magnetico. Azioni meccaniche su circuiti. Teorema di equivalenza di Ampère. Campo generato da correnti stazionarie. Prima formula di Laplace, legge di Biot e Savart. Campo da un filo infinito. Campo sull'asse di una spira. Seconda equazione di Maxwell: divergenza di  $B_0$ . Teorema della circuitazione di Ampère. Quarta equazione di Maxwell stazionaria. Equazioni di Maxwell stazionarie. Potenziale magnetostatico scalare. Caso di una spira circolare. Potenziale vettore. Forze tra circuiti percorsi da correnti stazionarie. Effetto Hall.

**M-S** Cap. V: V.1, V.2 (formule V.15 e V.16 senza dimostrazione precedente), V.3, V.4 senza parte di approfondimento (si consiglia di vedere l'argomento su Amaldi-Bizzarri-Pizzella: Cap.6.11, 6.12. vedi appunti in rete) o appunti di lezione, V.5 (senza dimostrazione della formula V.40), V.6, V.7. Esempi: E.V.1-3, E.V.7-12, E.V.18.

### **Campo magnetico nella materia.**

Generalità sul campo magnetico nella materia. Modello atomico elementare, momento magnetico orbitale e di spin, fattore giromagnetico. Vettore intensità di magnetizzazione. Densità di corrente microscopica di volume e di superficie. Relazione tra intensità di magnetizzazione e densità di corrente microscopica. Equazioni della magnetostatica in presenza di materia. Vettore campo magnetico  $H$ . Relazioni di raccordo su superficie di separazione tra due mezzi diversi. Legge di rifrazione per le linee di forza di  $H$  e  $B$ . Proprietà macroscopiche dei materiali diamagnetici, paramagnetici, ferromagnetici. Curva di isteresi. Leggi di Curie. Campo magnetico microscopico locale in un mezzo. Domini di Weiss. Momento magnetico di Larmor. Polarizzazione per orientamento e funzione di Langevin. Interpretazione microscopica di diamagnetismo, paramagnetismo, ferromagnetismo. Circuito magnetico, riluttanza magnetica, legge di Hopkinson. Elettromagnete, magnete permanente.

**M-S** Cap. VI: VI.1, 2, 3 (solo risultato finale dalla trattazione dell'equaz. VI.15: formule VI.16), 4, 5, 6, 7.

### **Campi lentamente variabili nel tempo.**

Trasformazioni relativistiche del campo elettrostatico e magnetostatico. Legge dell'induzione elettromagnetica (Faraday-Neumann). Legge di Lenz. Induzione elettromagnetica e forza di Lorentz. Interpretazione fisica, flusso tagliato, l'induzione in termini di trasformazione dei campi tra sistemi di riferimento, flusso concatenato. Formulazione generale e forma locale della legge di Faraday-Neumann (III equazione di Maxwell non stazionaria). Autoinduzione e coefficiente di autoinduzione. Circuito RL. Energia in un induttore. Coefficiente di mutua induzione. Energia associata al campo magnetico, densità di energia del campo magnetico. Energia magnetica di circuiti accoppiati. Forze da campo magnetico. IV equazione di Maxwell non stazionaria, densità di corrente di spostamento, esempio del condensatore.

**M-S** Cap. V.8, Cap. VII: VII.1, 2 (per VII.2.2 si può vedere appunto sul sito), 3, 4, 5, 6, 7, 9 (con E.VII.22). E.VII.3-5, 7-18.

### **Circuiti in corrente alternata. (non in programma, se non noto se ne suggerisce lo studio)**

Circuiti nel caso di f.e.m. variabili nel tempo. Circuito RLC, soluzioni dell'equazione omogenea. Soluzione del circuito RLC per f.e.m. sinusoidale, risonanza. Generalità sulle grandezze alternate. Sviluppo in serie di Fourier. Cenni al metodo simbolico. Potenza in circuiti in corrente alternata. Trasformatore statico. Dissipazione in una linea resistiva in corrente alternata.

**M-S** Cap. VIII: VIII.1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8.

### **Campi rapidamente variabili. Onde elettromagnetiche.**

Equazioni di Maxwell: considerazioni generali. Caso di mezzo omogeneo, di più mezzi omogenei. Densità di corrente di polarizzazione. Equazioni delle onde elettromagnetiche. Soluzione generale dell'equazione delle onde. Fronte d'onda. Velocità di fase. Onde elettromagnetiche piane. Onda polarizzata linearmente. Relazione tra i campi. Impedenza caratteristica. Onda elettromagnetica sinusoidale. Vettore d'onda. Energia elettrica e magnetica. Onde elettromagnetiche sferiche. Onde elettromagnetiche: caratteri generali in funzione della loro lunghezza d'onda (suggerita la lettura). Conservazione dell'energia, vettore di Poynting, interpretazione fisica, intensità di energia trasportata, quantità di moto e pressione della radiazione. Equazioni dei potenziali elettrodinamici, trasformazioni di gauge, gauge di Lorenz e di Coulomb, potenziali ritardati, Irraggiamento da un dipolo elettrico oscillante e da una carica accelerata (formula di Larmor).

**M-S** Cap. IX: IX.1, 2, 3, 4 (senza onde stazionarie), 5, (il 6 si studia nel corso di Ottica), 7 (non in programma: si suggerisce la lettura della parte iniziale), 8, 9, 10, 12 (fino a commenti equaz. IX.90 e formule potenziali di Lienard-Wiechert), 14, (per gli argomenti dei paragrafi 12 e 14 si possono vedere gli appunti in rete, Cap. 1.7), 15 (solo lettura dimostrazione IX.121). Sull'irraggiamento da dipolo si vedano appunti in rete.

### **Trasformazioni di Lorentz dei campi E e B. Covarianza relativistica dell'elettrodinamica.**

Trasformazioni relativistiche delle cariche, delle correnti e dei campi elettrico e magnetico. Forma covariante delle equazioni dell'elettrodinamica.

**M-S** Cap. V.8, Cap. IX.13 senza (IX.105). Per questi argomenti si vedano i due capitoli negli appunti in rete. Per una trattazione introduttiva sulla relatività ristretta, se necessaria, si veda per es. Amaldi, Bizzarri, Pizzella Cap. 10.