

## Argomenti delle lezioni del corso di Elettromagnetismo 2015-16

- 29 febbraio (2 ore)** Introduzione al corso, modalità del corso, libri di testo, esercitazioni. Il fenomeno dell'elettricità. Elettrizzazione per strofinio. / Cariche positive e negative. Forze tra le cariche. Carica elementare, nucleo, atomo. Isolanti e conduttori. Induzione elettrostatica.
- 1 marzo (2 ore)** Elettroscopio. Legge di conservazione della carica elettrica. Forza di Coulomb. Unità di misura. Campo elettrico, linee di forza del campo elettrico, rappresentazione di Faraday. Campo elettrico di un sistema di cariche puntiformi. Principio di sovrapposizione. Campo da distribuzioni di carica di volume, di superficie e lineare.
- 3 marzo (1 ora)** Flusso di un vettore. Teorema di Gauss. Commenti sul teorema.  
**(1 ora) Esercitazione:** calcolo del campo elettrico da due cariche uguali di segno opposto, limite sulla differenza di carica protone-elettrone da confronto con forza di gravità Terra-Luna.
- 4 marzo (1 ora)** Teorema della divergenza. Operatore Nabla. Prima equazione di Maxwell. Commenti sulla prima equazione di Maxwell.  
**(1 ora) Esercitazione:** Campo elettrico da un filo carico (calcolo diretto e con teorema di Gauss). Campo elettrico sull'asse di un anello carico.
- 7 marzo (2 ore)** Potenziale elettrico. Operatore gradiente. / Osservazioni sul gradiente. Coordinate sferiche, gradiente in coordinate sferiche. / Potenziale per una distribuzione estesa all'infinito: caso del potenziale dello strato uniformemente carico.
- 8 marzo (2 ore)** Esercitazioni: vedi pagina prof. Gualtieri.
- 10 marzo (2 ore)** Dipolo elettrico. Potenziale del dipolo elettrico. Potenziale e campo in coordinate sferiche e cartesiane. / Azioni meccaniche su un dipolo posto in campo elettrico: forza risultante, momento, energia potenziale. / Calcolo e potenziale per una superficie sferica carica.
- 11 marzo (2 ore)** Azioni meccaniche su un dipolo posto in campo elettrico: derivazione anche da variazione di energia potenziale. Sviluppo in serie di multipoli. / Proprietà del momento di dipolo elettrico. Dipolo elettrico di una sbarretta con carica opposta uniforme sulle due metà.
- 14 marzo (2 ore)** Campo elettrico conservativo. Operatore rotore. Rotore del campo elettrico e commenti. / Conduttori, campo elettrico all'interno di un conduttore. Componenti del campo alla superficie di separazione tra due mezzi. Esercizio supoteniale da una sfera con all'interno cavità sferica.
- 15 marzo (2 ore)** Potenziali interno ed esterno in prossimità della superficie di un conduttore. Teorema di Coulomb. / Casi di distribuzioni di cariche su conduttori. Schermo elettrostatico. Conduttore formato da due sfere connesse elettricamente, proprietà delle punte. Esercizio su distribuzione sferica

- 17 marzo** (2 ore) Capacità di un conduttore. Matrice dei potenziali e di capacità. Capacità di un condensatore elettrostatico. / Capacità di condensatori piano, sferico, cilindrico. Continuazione esercizio su distribuzione di carica sferica.
- 18 marzo** (2 ore) Energia elettrostatica di un sistema di cariche puntiformi. Per un sistema di cariche generale. / Energia elettrostatica del campo elettrico. Energia elettrostatica per una superficie sferica carica, per una sfera uniformemente carica. Raggio classico dell'elettrone. Energia elettrostatica del condensatore.
- 21 marzo** (1 ora) Energia elettrostatica nel condensatore. Pressione elettrostatica su superficie di un conduttore carico. Pressione da principio lavori virtuali. Parallelo e serie di condensatori. (1 ora) **Esercitazione:** Coefficienti di potenziale in conduttore sferico cavo con sfera conduttrice concentrica (Esempio M-S E.II.6). Capacità del sistema. Equivalente come serie di due condensatori. Momento di dipolo elettrico di due semicirconferenze di densità di carica lineare opposta.
- 22 marzo** (1 ora) Forza elettrostatica su conduttori. Forza a carica costante e a potenziale costante. / Continuazione problema su conduttore sferico con strato sferico concentrico: campo e potenziale come sovrapposizione di campi e potenziali di superfici sferiche cariche.  
(1 ora) **Esercitazioni:** prof. Lucarelli
- 30 marzo** (2 ore) Equazione di Poisson, Problema generale dell'elettrostatica. Problema di Dirichlet e di Neumann. / Metodo delle cariche immagine. Esempio della carica puntiforme davanti a un piano conduttore
- 1 aprile** (2 ore) **Esercitazioni:** Carica immagine in sfera conduttrice e carica puntiforme. / Problema n. 1 23 Febbraio 2007
- 4 aprile** (1 ora) Caratteri generali dei dielettrici. Polarizzazione per deformazione. Semplice modello atomico.  
(1 ora) **Esercitazioni:** problema 17-9-2015 con piano conduttore e dipolo elettrico.
- 5 aprile** (2 ore) Polarizzazione per orientamento. Funzione di Langevin. / Vettore intensità di polarizzazione. Carica di polarizzazione di superficie e di volume e relazioni con intensità di polarizzazione. / Inizio problema n. 2 esonero 23-2-2007.
- 7 aprile** (2 ore) Campo locale. Polarizzazione in un gas, in un mezzo denso (formula di Clausius-Mariotti). Vettore spostamento elettrico. Equazione dei campi in un dielettrico. / Fine esercizio lezione precedente.
- 8 aprile** (2 ore). Problema dell'elettrostatica in un dielettrico perfetto. Relazioni di raccordo dei campi E e D alla superficie di separazione tra due dielettrici. Legge di rifrazione delle linee di forza dei campi E e D. Problema dell'elettrostatica in presenza di più dielettrici. / Sfera carica immersa in un dielettrico: campi e cariche di polarizzazione. Generatore di Van der Graff
- 11 aprile** (1 ora) Definizione operativa dei campi E e D nei dielettrici. Energia elettrostatica in presenza di dielettrici. Esempio di condensatore piano con due dielettrici: campi, potenziali, vettore polarizzazione, cariche di polarizzazione. Rigidità dielettrica. (1

**ora) Esercitazioni:** Calcolo di dipolo elettrico di una distribuzione e forza e momento sul dipolo nel campo di due fili paralleli di carica opposta.

- 12 aprile** (1 ora) Dielettrici tra lastre di un condensatore piano, rigidità dielettrica. (1 ora) **Esercitazioni:** Problemi vari: campo interno a doppio strato con dielettrico e cariche di polarizzazione. Forza di risucchio di un dielettrico all'interno di un condensatore piano.
- 14 aprile** (1 ora) Conduttori, gas di elettroni, velocità termica. Cella voltaica. Corrente elettrica. Potenza trasferita alla corrente. / Modello semplice del moto degli elettroni e velocità di deriva. / (1 ora) **Esercitazioni:** Formula di Lorentz per campo elettrico locale in dielettrico denso polarizzato. Esempio di un dielettrico con polarizzazione non uniforme in un condensatore piano: cariche di polarizzazione di superficie e di volume.
- 15 aprile** (1 ora) **Lezione** Legge di Ohm e resistenza elettrica. Seconda legge di Ohm, conducibilità elettrica. Forma locale della legge di Ohm. Effetto Joule, forma locale dell'effetto Joule. CR in un conduttore generico con dielettrico resistivo. Carica e scarica di un condensatore. (1 ora) **Esercitazioni: prof. Lucarelli.**
- 18 aprile** (2 ore) Campo elettromotore, forza elettromotrice. Generatori elettrici. Circuito equivalente del generatore. / Passaggio di corrente nei gas.
- 19 aprile** (1 ora) **Lezione** Campo magnetico, alcune osservazioni sperimentali. Forza di Lorentz. (1 ora) **Esercitazioni: prof. Lucarelli.**
- 21 aprile** (1 ora) Azioni meccaniche su un circuito percorso da corrente. Teorema di equivalenza di Ampere (prima parte). Momento meccanico per la spira rigida, momento di dipolo magnetico. Energia e forza per un dipolo magnetico in campo. / Momento magnetico del disco carico ruotante. Moto di una particella in campo magnetico, integrazione delle equazioni del moto. Sincrotrone.
- 22 aprile** (1 ora) Prima formula di Laplace, formula fondamentale della magnetostatica nel vuoto. Campo magnetico da un filo rettilineo infinito percorso da corrente. Resistenza tra le armature cilindriche contenenti un dielettrico resistivo. / (1 ora) **Esercitazioni: prof. Lucarelli.**
- 26 aprile** (2 ore) Linee di forza del campo B. Solenoidalità del campo B: da linee chiuse di campo, da divergenza dell'espressione del campo B di un circuito. Il'equazione di Maxwell stazionaria. / Esempi forza di Lorentz: bottiglia magnetica, fasce di Van Allen, selettore di velocità, spettrometro di massa, ciclotrone.
- 28 aprile** (2 ore) Teorema della circuitazione di Ampère, IV equazione di Maxwell stazionaria. / Potenziale magnetico scalare, seconda parte del teorema di equivalenza di Ampère.
- 29 Aprile** (1 ora) Potenziale magnetico vettore, trasformazione di gauge, equazione per il potenziale vettore. / (1 ora) **Esercitazioni: prof. Lucarelli.**

- 2 Maggio** (2 ore) Forza tra due circuiti percorsi da corrente. Forza tra due fili paralleli percorsi da corrente. Definizione unità misura Ampere. / Effetto Hall.
- 3 Maggio** (2 ore) Introduzione magnetismo nella materia. Modello classico dell'atomo di idrogeno. Momento magnetico orbitale e di spin. Rapporto giromagnetico. / Potenziale magnetico vettore da una piccola spira.
- 5 Maggio** (2 ore) Intensità di magnetizzazione. Correnti amperiane di volume e di superficie: relazioni con intensità di magnetizzazione. / Calcolo del campo magnetico da una piccola spira.
- 6 Maggio** (1 ora) Equazioni del campo magnetico nella materia. Campo magnetico  $H$ . Equazioni della magnetostatica. Teorema della circuitazione per il campo  $H$ . relazione di raccordo per  $H$  e  $B$  alla superficie di separazione di due mezzi diversi, legge di rifrazione. / (1 ora) **Esercitazioni: prof. Lucarelli.**
- 9 Maggio** (2 ore) Proprietà macroscopiche di sostanze diamagnetiche, paramagnetiche (legge di Curie) / Proprietà macroscopiche di sostanze ferromagnetiche (ciclo di isteresi, legge di Curie-Weiss).
- 10 Maggio** (1 ora) Campo magnetico locale. Domini di Weiss. Precessione di Larmor. Interpretazione proprietà microscopiche diamagnetismo e paramagnetismo. / (1 ora) **Esercitazioni:** Condensatore piano con dielettrico di costante dielettrica variabile linearmente. Campo magnetico in bobine di Helmholtz
- 12 Maggio** (1 ora) Magnetizzazione per orientamento, funzione di Langevin. Interpretazione proprietà microscopiche paramagnetismo e ferromagnetismo / (1 ora) **Esercitazioni:** Conduttore cilindrico rivestito da una guaina di materiale magnetico e poi da un mezzo magnetico diverso dal primo: campi  $H$ ,  $B$ ,  $M$ , densità di correnti amperiane di superficie e di volume.
- 13 Maggio** (2 ore) Circuiti magnetici. Legge di Hopkinson. / Fine problema lezione precedente. Introduzione a Elettrodinamica e relatività.
- 16 Maggio** (2 ore) Trasformazioni di Lorentz tra sistemi inerziali per densità di carica e di corrente. (vedi appunti). Caso di particella in moto nel campo  $B$  da filo percorso da corrente. / Equazioni del moto nei due sistemi di riferimento. Trasformazioni dei campi  $B$  e  $E$ . (vedi appunti). Elettromagnete.
- 17 Maggio** (2 ore) Legge di Faraday-Neumann, osservazioni sperimentali e commenti. Legge di Lenz / Esempio di circuito con flusso tagliato. Moto di un circuito in un campo magnetico costante.
- 19 Maggio** (2 ore) Caso di f.e.m. indotta nel caso di moto relativo di due circuiti. / f.e.m. in caso di circuito in moto in campo magnetico  $B$  variabile. III equazione di Maxwell.

- 20 Maggio** (2 ore) **Esercitazioni.** Cilindro dielettrico ruotante in un campo magnetico: cariche di polarizzazione. Asticella conduttrice soggetta a forza peso che chiude un circuito immerso in campo magnetico. Magnete permanente
- 22 Maggio** (ore 11-13) Dimostrazione in aula Amaldi di alcune esperienze di elettromagnetismo.
- 23 Maggio** (2 ore) Autoinduzione, coefficiente di autoinduzione. Circuito RL(VII.4). / Analisi energetica del circuito RL (VII.6 + E.VII.12, E.VII.13). Energia magnetica e densità di energia magnetica (da esempio in solenoide VII.6).
- 24 Maggio** (1 ora) **Esercitazioni:** Esercizio su moto di un'asticella ruotante in campo magnetico costante inserita in un circuito.
- 25 Maggio** (2 ore) ) Mutua induzione. Legge di Felici (VII.4). Energia nel ciclo di isteresi. / Energia magnetica in un sistema di circuiti accoppiati percorsi da correnti.
- 26 Maggio** (2 ore) Energia magnetica e forza da campo magnetico. Esercizio su forza per staccare ancora da elettromagnete. / Corrente di spostamento. IV equazione di Maxwell. Equazioni di Maxwell dipendenti dal tempo.
- 27 Maggio** (2 ore) Osservazioni sulle equazioni di Maxwell. Corrente di polarizzazione. / Equazione delle onde e.m., velocità della luce, soluzione delle onde e.m..
- 30 Maggio** (2 ore) Onde e.m. piane: relazioni tra i campi E e B e con direzione moto. Impedenza caratteristica. / Energia elettrica e magnetica nell'onda.
- 31 Maggio** (2 ore) Onda con direzione generica. Onda e.m. monocromatica. Onda e.m. sferica / Onde e.m. stazionarie.
- 1 Giugno** (2 ore) Vettore di Poynting. Caso dell'onda piana, significato del vettore di Poynting. / Vettore di Poynting e potenza in un resistore. Energia e quantità di moto trasferita dall'onda. Quantità di moto trasportata dall'onda. Pressione di radiazione.
- 5 Giugno** (2 ore) Potenziali elettrodinamici. Trasformazioni di gauge. Gauge di Lorentz e di Coulomb. Potenziali ritardati. / Esercizio su materiale ferromagnetico con suscettività variabile e correnti amperiane.
- 6 Giugno** (2 ore) **Esercitazioni: prof. Lucarelli.**
- 9 giugno** (2 ore) Irraggiamento da dipolo elettrico oscillante / Quadrivettori, componenti contravarianti e covarianti. Covarianza relativistica dell'elettromagnetismo. Quadridensità di corrente. Quadripotenziale.
- 10 giugno** (3 ore) Covarianza relativistica dell'elettromagnetismo. Quadridensità di corrente. Quadripotenziale. Equazione di continuità. Tensore elettromagnetico. Trasformazione dei campi E e B come componenti del tensore elettromagnetico. Equazioni di Maxwell in forma covariante. Equazione dei potenziali. Trasformazione di gauge. Fase, cenno a 4-forza su una particella carica. / (1 ora) **Esercitazioni:** Spira in moto su un piano inclinato con campo B funzione della posizione. Contrazione di una molla percorsa da corrente.