

Argomenti delle lezioni del corso di Elettromagnetismo 2019-20

- 24 febbraio (2 ore)** Introduzione al corso, modalità del corso, libri di testo, esercitazioni. Introduzione all'Elettromagnetismo. / Il fenomeno dell'elettricità. Elettrizzazione per strofinio. Cariche positive e negative. Forze tra le cariche. Carica elementare, nucleo, atomo. Isolanti e conduttori.
- 25 febbraio (2 ore)** Induzione elettrostatica. Elettroscopio. Legge di conservazione della carica elettrica. Forza di Coulomb. Unità di misura. / Campo elettrico, linee di forza del campo elettrico. Campo elettrico di un sistema di cariche puntiformi. Principio di sovrapposizione. Campo elettrico da distribuzione continua di cariche. **Esercitazione:** Esempio: calcolo del campo elettrico da due cariche uguali di segno opposto.
- 26 febbraio (1 ora) Esercitazione:** Esempio: Calcolo completo di campo da un filo carico e da un piano carico. / **(1 ora)** Flusso di un vettore. Teorema di Gauss. Commenti sul teorema. Campo da un filo carico e da un piano uniformemente carico usando il teorema di Gauss.
- 28 febbraio (2 ore)** Rappresentazione di Faraday del campo elettrico. Teorema della divergenza. Operatore Nabla. Prima equazione di Maxwell. Commenti sulla prima equazione di Maxwell. / Potenziale elettrico. Operatore gradiente.
- 2 marzo (2 ore)** Potenziale per una distribuzione estesa all'infinito: caso del potenziale dello strato uniformemente carico. Campo e potenziale in doppio strato. / Osservazioni sul gradiente. Coordinate sferiche, gradiente in coordinate sferiche. Componenti del campo in coordinate sferiche.
- 3 marzo (2 ore)** Dipolo elettrico. Potenziale del dipolo elettrico. Potenziale e campo in coordinate sferiche. / Azioni meccaniche su un dipolo posto in campo elettrico: forza risultante, energia potenziale del dipolo elettrico. / Derivazione da principio lavori virtuali di forza e momento delle forze agenti sul dipolo in un campo esterno.
- 4 marzo (1 ora)** Sviluppo in serie di multipoli. Proprietà del momento di dipolo elettrico.
- 9 marzo (2 ore)** Campo elettrico conservativo. Operatore rotore. Rotore del campo elettrico e commenti. / Tensore quadrupolo elettrico (facoltativo). / Esempi di calcolo di momenti di dipolo.
- 10 marzo (2 ore)** Conduttori, campo elettrico all'interno di un conduttore. Componenti del campo alla superficie di separazione tra due mezzi. Potenziali interno ed esterno in prossimità della superficie di un conduttore. Teorema di Coulomb, interpretazione come composizione campi. (Vedi Mencuccini-Silvestrini paragrafo II.5) /
- 11 marzo (1 ora)** Casi di distribuzioni di cariche su conduttori. Conduttore cavo. Schermo elettrostatico. Due sfere cariche connesse da filo conduttore (Mencuccini-Silvestrini E II.4 e seguente testo). Proprietà delle punte. / **(1 ora) Esercitazione:** Campo e potenziale per distribuzioni di carica a simmetria sferica, caso della sfera uniforme e

di superficie sferica (appunti su pagine del corso o Esempi 1.7, 1.8 sul Mencuccini-Silvestrini).

- 13 marzo** (1 ora) Capacità di un conduttore. Capacità di un conduttore sferico. Caso di più conduttori. Matrice dei potenziali e di capacità. / (1 ora) **Esercitazione:** Problema con dipolo in campo da carica puntiforme.
- 16 marzo** (2 ore) **Esercitazione Prof.ssa P. Leaci.** Problema n. 1 del Compito 23-4-2010 e inizio problema n. 1 del Compito 6-11-2013.
- 17 marzo** (2 ore) Condensatore elettrostatico. Capacità di condensatori piano, sferico, cilindrico. / Esempio di calcolo di coefficienti di potenziale (M-S E II.6). Operatori differenziali in coordinate sferiche e cilindriche.
- 18 marzo** (1 ora) Energia elettrostatica di un sistema di cariche puntiformi e per un sistema di cariche generale. Energia elettrostatica del campo elettrico. / (1 ora) **Esercitazione:** Esercizio 1 del compito 8-2-2019.
- 19 marzo** (2 ore) **Esercitazione:** Serie e parallelo di condensatori. Energia elettrostatica del condensatore calcolata in vari modi. Capacità ed energia elettrostatica per una sfera conduttrice carica dentro un conduttore sferico cavo, schematizzazione con serie di condensatori. / Energia elettrostatica come somma di energia nello spazio e flusso nel caso conduttore sferico carico.
- 20 marzo** (2 ore) Forza elettrostatica su conduttori. Forza a carica costante e a potenziale costante vedi cap. VII.7.1 (e poi si suggeriscono gli appunti sul sito). / Equazione di Poisson, Problema generale dell'elettrostatica. Problemi di Dirichlet e di Neumann. (vedi appunti).
- 23 marzo** (2 ore) Metodo delle cariche immagine. Esempio della carica puntiforme davanti a un piano conduttore (vedi appunti). / Forza tra due dipoli elettrici: il primo nell'origine e l'altro in vari punti e con orientamento concorde e discorde al primo
- 24 marzo** (2 ore) **Esercitazione:** Carica immagine in problema sfera conduttrice e carica puntiforme (esterna). / Introduzione ai dielettrici.
- 25 marzo** (2 ore) **Esercitazione Prof.ssa P. Leaci.** Esercizio su dipolo posto davanti a un piano conduttore, n. 1 17/4/2015, problema con conduttore sferico all'interno di uno strato conduttore.
- 26 marzo** (2 ore) Polarizzazione per deformazione e per orientamento. Esercizio su forza in conduttori sferici.
- 27 marzo** (2 ore) Vettore intensità di polarizzazione. Cariche di polarizzazione. / Discussione di alcuni punti di lezioni passate.
- 30 marzo** (2 ore) Campo locale e campo macroscopico. Dimostrazione formula Lorentz per dielettrici densi polari (vedi appunti in rete o Amaldi, Bizzarri, Pizzella – Elettromagnetismo Cap. 4.22 in rete). Suscettività per vapori e per dielettrici densi. Formula di Clausius-Mossotti. Vettore spostamento elettrico. Equazioni dell'elettrostatica in presenza di dielettrici.

- 31 marzo** (2 ore) Teorema di Gauss per D. Problema dell'elettrostatica nel caso di un solo dielettrico e per più dielettrici. / Esempio di una sfera carica immersa in un dielettrico perfetto e isotropo. Dielettrico in un condensatore piano. Cariche di polarizzazione. Elettrostatica nel caso di più dielettrici. Condizioni sui campi alla superficie di separazione. Legge di rifrazione delle linee di campo alla superficie di separazione di due dielettrici.
- 1 aprile** (2 ore) Definizione operativa dei campi E e D nei dielettrici. Energia elettrostatica nei dielettrici. / Esempio di un condensatore con due diversi dielettrici: campi e cariche di polarizzazione. Rigidità elettrica. Risucchio di un dielettrico in un condensatore piano.
- 2 aprile** (2 ore) Introduzione correnti elettriche. Modello classico di gas di elettroni. Potenza trasferita dal campo elettrico. Velocità di deriva. Vettore densità di corrente. Problema (29-4-2017 su condensatore con due dielettrici, uno a suscettività variabile linearmente: campi D e E, d.d.p., cariche di polarizzazione.
- 3 aprile** (2 ore) Conservazione della carica, equazione di continuità della corrente elettrica. Corrente in regime stazionario, prima e seconda legge di Kirchhoff. Regime quasi stazionario. Legge di Ohm e resistenza elettrica. Seconda legge di Ohm, conducibilità elettrica. Forma locale della legge di Ohm. / Effetto Joule, forma locale della legge di Joule. / Problema (29-4-2017 su condensatore con due dielettrici, uno a suscettività variabile linearmente: forza per allontanare un'armatura dal dielettrico.
- 6 aprile** (2 ore) **Esercitazione Prof.ssa P. Leaci.**
- 7 aprile** (2 ore) Campo elettromotore, forza elettromotrice. Generatori elettrici. Circuito equivalente del generatore. / Generatore di Van der Graaf. Capacità e resistenza in un condensatore con dielettrico resistivo. Resistenza di uno strato sferico. Esercizio: risucchio in un condensatore cilindrico verticale parzialmente immerso in un liquido.
- 8 aprile** (2 ore) **Esercitazioni:** Carica e scarica di un condensatore. Problema Nigro-Voci 4.12: dielettrico con costante dielettrica relativa variante linearmente. Esercizio n.1 del compito 15/7/2011. Problema 2.14 del Mencuccini-Silvestrini.
- 15 aprile** (2 ore) Campo magnetico, alcune osservazioni sperimentali. Forza di Lorentz. / Esempi di forza di Lorentz. Moto di una particella in campo magnetico, equazioni del moto. / Esperimento di Millikan.
- 17 aprile** (2 ore) 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, forza e momento per un dipolo magnetico in campo magnetico. Momento magnetico di un disco carico ruotante. Esempi di applicazione di forza di Lorentz: selettore di velocità, spettrometro di massa.
- 20 aprile** (2 ore) Prima formula di Laplace, formula fondamentale della magnetostatica nel vuoto. Campo magnetico da un filo rettilineo infinito percorso da corrente. 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. II equazione di Maxwell stazionaria. / Esempi di applicazione di forza di Lorentz: bottiglia magnetica.

- 21 aprile** (2 ore) Teorema della circuitazione di Ampère, IV equazione di Maxwell stazionaria (per questi argomenti si vedano appunti sul sito e appunti di lezione). Alcuni esempi.
- 22 aprile** (2 ore) Potenziale magnetico scalare, seconda parte del teorema di equivalenza di Ampère (dimostrazione facoltativa M-S V.5.1). / Campo magnetico in un solenoide: calcolo completo e da circuitazione. Esempi di applicazione di forza di Lorentz: ciclotrone, sincrotrone.
- 24 aprile** (2 ore) Potenziale magnetico vettore, trasformazione di gauge, equazione per il potenziale vettore. / Potenziale magnetico e campo da una piccola spira percorsa da corrente. Fine calcolo campo in solenoide. Campo magnetico per superficie percorsa da una corrente uniforme.
- 27 aprile** (2 ore) Forze tra fili percorsi da correnti. Effetto Hall. / Esercizi su campo magnetico.
- 28 aprile** (2 ore) **Esercitazione Prof.ssa P. Leaci.**
- 29 aprile** (2 ore) Introduzione magnetismo nella materia. Modello classico dell'atomo idrogeno. Momento magnetico orbitale e di spin. Rapporto giromagnetico. / Esercizi di magnetostatica.
- 4 maggio** (2 ore) Intensità di magnetizzazione. Correnti amperiane di volume e di superficie: relazioni con intensità di magnetizzazione. / Passaggio della corrente in gas. Vari tipi di scarica in gas rarefatto.
- 5 maggio** (2 ore) **Esercitazione Prof.ssa P. Leaci.**
- 6 maggio** (2 ore) Equazioni del campo magnetico nella materia. Campo magnetico H. Equazioni della magnetostatica. Teorema della circuitazione per il campo H. Relazioni di raccordo per H e B alla superficie di separazione di due mezzi diversi, legge di rifrazione delle linee di forza. / Proprietà macroscopiche di sostanze diamagnetiche, paramagnetiche (legge di Curie). Esercizio su campo magnetico: correnti amperiane su un cilindro magnetizzato.
- 8 maggio** (2 ore) Proprietà macroscopiche di sostanze ferromagnetiche. Precessione di Larmor. Interpretazione microscopica del diamagnetismo.
- 11 maggio** (1 ora) Interpretazione proprietà microscopiche diamagnetismo, paramagnetismo e ferromagnetismo / (1 ora) **Esercitazione:** 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 e correnti amperiane di superficie.
- 12 maggio** (2 ore) Circuiti magnetici. Legge di Hopkinson. / Elettromagnete. Magnete permanente. Prima parte esercizio n. 3 del 3/7/2008.

- 13 maggio** (2 ore) Trasformazioni di Lorentz tra sistemi inerziali per densità di carica e di corrente, 4-densità di corrente. Caso di particella in moto nel campo B da filo percorso da corrente. / Equazioni del moto nei due sistemi di riferimento del laboratorio e della particella (vedi appunti). Trasformazioni dei campi B e E. vedi appunti o libro).
- 15 maggio** (2 ore) Legge di Faraday-Neumann, osservazioni sperimentali e commenti. Legge di Lenz. Casi di flusso tagliato e forza di Lorentz.
- 18 maggio** (2 ore) Moto di un circuito in un campo magnetico costante. Interpretazione campo indotto in termini trasformazione di campi tra sistemi di riferimento / Fine esercizio n. 3 del 3/7/2008. Magnete permanente. Esempi di flusso tagliato: sbarrettain moto in campo B e disco conduttore ruotante in campo B.
- 19 maggio** (2 ore) **Esercitazione Prof.ssa P. Leaci.**
- 20 maggio** (2 ore) Moto di un circuito in campo B dipendente dal tempo. Terza equazione di Maxwell. Autoinduzione, coefficiente di autoinduzione. Induttanza del solenoide. Esercizio su forza elettromotrice indotta: asticella metallica che scivola su due binari conduttivi connessi da resistenza in un campo magnetico verticale uniforme.
- 22 maggio** (2 ore) Induzione mutua. Circuito RL(VII.4). Analisi energetica del circuito RL (VII.6 + E.VII.12, E.VII.13). Legge di Felici (VII.4). Energia magnetica e densità di energia magnetica (da esempio in solenoide VII.6).
- 25 maggio** (2 ore) Energia magnetica in sistema di circuiti. Forza da campi magnetici. Energia nel ciclo di isteresi. Esercizi su induzione elettromagnetica.
- 26 maggio** (2 ore) IV equazione di Maxwell, densità di corrente di spostamento. / Equazioni di Maxwell dipendenti dal tempo. Esercizio n.1 del 13/6/2008 su circuito magnetico e forza magnetica.
- 27 maggio** (2 ore) Osservazioni sulle equazioni di Maxwell. Correnti di polarizzazione. / Esercizio su induzione elettromagnetica n. 2 13/6/2008.
- 29 maggio** (2 ore) Equazione delle onde e.m., velocità della luce, soluzione delle onde e.m.. Onde e.m. piane: relazioni tra i campi E e B e con direzione moto. / Esercizio su induzione elettromagnetica n. 3 6/7/2006.
- 1 giugno** (2 ore) Continuazione onde e.m. piane. Impedenza caratteristica. Energia elettrica e magnetica nell'onda. Onde e.m. sferiche. Onda con direzione di propagazione generica. Onda e.m. monocromatica. / Esercizio n. 2 del 10/12/1982.
- 3 giugno** (1 ora). Vettore di Poynting. Caso dell'onda piana, significato del vettore di Poynting. / (1 ora) **Esercitazione:** Vettore di Poynting e potenza dissipata in un resistore. Esempio della scarica del condensatore. Fine esercizio n. 2 del 10/2/1982. Esercizio su forze tra un solenoide e un secondo solenoide coassiale in parte inserito all'interno del primo.

- 5 giugno** (1 ora) Potenziali elettrodinamici. Trasformazioni di gauge. Gauge di Lorenz e di Coulomb. Potenziali ritardati. / (1 ora) **Esercitazione:** Vettore di Poynting: esercizio n. 3 del compito 21/12/2014.
- 8 giugno** (1 ora) Energia e quantità di moto trasferita dall'onda e.m.. Pressione di radiazione. / (1 ora) **Esercitazione:** Problema su circuito magnetico: problema n. 2 Esonero 20-7-2016.
- 9 giugno** (2 ore) Irraggiamento da dipolo elettrico oscillante. / Elettrodinamica e relatività. Quadri-vettori, componenti contravarianti e covarianti. Covarianza relativistica dell'elettrodinamica.
- 10 giugno** (2 ore) Covarianza relativistica dell'elettrodinamica. Quadridensità di corrente. Quadripotenziale. Equazioni del 4-potenziale. Equazione di continuità. Tensore elettromagnetico.
- 11 giugno** (3 ore) Esercizio su induzione elettromagnetica. Trasformazione dei campi E e B come componenti del tensore elettromagnetico. Equazioni di Maxwell in forma covariante. Equazione dei potenziali. Trasformazione di gauge. Fase dell'onda. Cenno a 4-forza su una particella carica. L'interazione elettromagnetica, e le altre, unificazione e problemi aperti.