

Argomenti delle lezioni del corso di Elettromagnetismo 2021-22

- 23 febbraio (1 ora)** Introduzione al corso, modalità del corso, libri di testo, esercitazioni. Introduzione all'Elettromagnetismo.
- 24 febbraio (2 ore)** Il fenomeno dell'elettricità. Elettrizzazione per strofinio. Cariche positive e negative. Forze tra le cariche. Carica elementare, nucleo, atomo. Isolanti e conduttori. / Induzione elettrostatica. Elettroscopio. Legge di conservazione della carica elettrica. Forza di Coulomb. Unità di misura.
- 25 febbraio (2 ore)** 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. Esempio: calcolo del campo elettrico da due cariche uguali di segno opposto.
- 28 febbraio (2 ore)** Flusso di un vettore. Teorema di Gauss. Commenti sul teorema. Teorema della divergenza. Operatore Nabla. Prima equazione di Maxwell. Commenti sulla prima equazione di Maxwell. / Esempio: Calcolo diretto e con teorema di Gauss del campo da un filo carico.
- 1 marzo (2 ore)** Potenziale elettrico. Operatore gradiente. Potenziale per una distribuzione estesa all'infinito: caso del potenziale dello strato uniformemente carico. Campo e potenziale in doppio strato. / Osservazioni sul gradiente. Linee di forza e rappresentazione di Faraday.
- 2 marzo (1 ora)** Potenziale e campo elettrico lungo l'asse di un anello carico. Osservazioni.
- 3 marzo (2 ore)** Potenziale e campo per un piano uniformemente carico. Anche con teorema di Gauss/ Coordinate sferiche, gradiente in coordinate sferiche. Dipolo elettrico.
- 4 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, energia del dipolo elettrico, momento meccanico. / Derivazione da principio lavori virtuali di forza e momento delle forze agenti sul dipolo in un campo esterno.
- 7 marzo (2 ore)** Sviluppo in serie di multipoli. Proprietà del momento di dipolo elettrico. Vedi appunti a pag. 15: <https://www.roma1.infn.it/~lacava/Appunti2012/provaStud.pdf>
Doppio strato. Potenziale e campo in doppio strato. Vedi appunti: <https://www.roma1.infn.it/~lacava/Appunti2012/Doppio.pdf>
- 8 marzo (2 ore)** Campo conservativo, operatori rotore e nabla. IIIa equazione Maxwell stazionaria. / Distribuzioni di carica a simmetria sferica. Vedi appunti: <https://www.roma1.infn.it/~lacava/Appunti2012/GaussSimmSferica.pdf>
- 9 marzo (1 ora)** Conduttori, campo elettrico all'interno di un conduttore. Componenti del campo alla superficie di separazione tra due mezzi. Campo elettrico interno ed esterno a un conduttore.

- 10 marzo** (2 ore) Potenziali interno ed esterno in prossimità della superficie di un conduttore. Teorema di Coulomb, interpretazione come composizione campi. (Vedi Mencuccini-Silvestrini paragrafo II.5) Casi di distribuzioni di cariche su conduttori. Conduttore cavo. Schermo elettrostatico. ---> Si suggerisce di vedere gli esempi/esercizi I.9 e I.10 sul Mencuccini-Silvestrini
- 11 marzo** (2 ore) Capacità di un conduttore. Capacità del conduttore sferico. Matrice di dei potenziali e di capacità di un sistema di conduttori. Due sfere cariche connesse da filo conduttore (Mencuccini-Silvestrini E II.4 e seguente testo). Proprietà delle punte. Esempi di calcolo di momenti di dipolo: sbarretta, circonferenza con distribuzione dipendente da angolo.
- 14 marzo** (2 ore) Condensatore elettrostatico. Capacità di condensatori piano, sferico, cilindrico. / Esempio di calcolo di coefficienti di potenziale (M-S E II.6. Serie e parallelo di condensatori.
- 15 marzo** (2 ore) Energia elettrostatica di un sistema di cariche puntiformi e per un sistema di cariche generale. Energia elettrostatica del campo elettrico. / Energia elettrostatica di una superficie sferica carica. Energia elettrostatica di una sfera uniformemente carica. Raggio classico dell'elettrone.
- 16 marzo** (1 ora) Coefficienti di potenziale per uno stato conduttore con sfera conduttrice all'interno. Momento di dipolo di una semicorona carica e una carica puntiforme di segno opposto al centro.
- 17 marzo** (2 ore) Energia elettrostatica del condensatore calcolata in vari modi. 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). Serie e parallelo di condensatori.
- 18 marzo** (2 ore) Equazione di Poisson, Problema generale dell'elettrostatica. Problemi di Dirichlet e di Neumann. (vedi appunti sul sito). / Dipolo elettrico nel campo di una carica puntiforme: forza sul dipolo. Conduttore sferico circondato da strato conduttore sferico. Potenziale ed energia elettrostatica con calcolo diretto. Schematizzazione del sistema come serie di condensatori. Potenziale ed energia elettrostatica da serie di condensatori.
- 21 marzo** (2 ore) Metodo delle cariche immagine. Esempio della carica puntiforme davanti a un piano conduttore (vedi appunti sul sito)./ Esercizio n. 1 del 8/2/2019 (prima parte)
- 22 marzo** (2 ore) Carica immagine in problema sfera conduttrice e carica puntiforme (esterna). / Calcolo del campo elettrico all'esterno della sfera conduttrice e densità di carica superficiale. Momento di dipolo di una semicorona carica e di una carica opposta uguale posizionata nel centro.
- 23 marzo** (1 ora) Introduzione ai dielettrici. Polarizzazione per deformazione e per orientamento.

- 24 marzo** (2 ore) Polarizzazione per orientamento. Vettore intensità di polarizzazione e cariche di polarizzazione di volume e di superficie. (La funzione di Langevin è stata ricavata senza approssimazione, vedi appunti o vedi calcoli Cap.VI.6.3 dove è riferita al momento di dipolo magnetico proprio).
- 25 marzo** (2 ore) Vettore intensità polarizzazione e densità di cariche di polarizzazione. Campo locale e campo macroscopico. Dimostrazione formula Lorentz per dielettrici densi polari (vedi appunti sul sito oppure Amaldi, Bizzarri, Pizzella – Elettromagnetismo, Cap. 4.22 fotocopie sul sito). Inizio problema n.1 del 2/9/2009.
- 28 marzo** (2 ore) Suscettività per vapori e per dielettrici densi. Formula di Clausius-Mossotti. Vettore spostamento elettrico. Equazioni elettrostatica in dielettrici. / Esercizio 1 del compito 2-9-2009.
- 29 marzo** (2 ore) Equazioni dell'elettrostatica in presenza di dielettrici. Caso di un dielettrico. Esempio conduttore carico in dielettrico. Caso di più dielettrici. Relazioni costitutive di raccordo tra soluzioni alla superficie di separazione di due dielettrici. Legge di rifrazione di E e di D. / Forza nel caso dell'esercizio n. 1 del 2-9-2009.
- 30 marzo** (1 ora) Dipolo elettrico parallelo a un piano conduttore a massa. Forza sul dipolo.
- 31 marzo** (2 ore) Definizione operativa dei vettori E e D in un dielettrico. Energia elettrostatica in presenza dielettrici. Condensatore piano con due dielettrici: campi e cariche di polarizzazione. Rigidità dielettrica. Risucchio di un dielettrico in un condensatore, forza a carica costante.
- 1 aprile** (2 ore) Introduzione correnti elettriche. Modello classico di gas di elettroni. Potenza trasferita dal campo elettrico. Velocità di deriva. Vettore densità di corrente. / Continuazione problema risucchio.
- 4 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. / Esercizio di elettrostatica.
- 5 aprile** (2 ore) Effetto Joule, forma locale della legge di Joule. Campo elettromotore, forza elettromotrice. Generatori elettrici. Circuito equivalente del generatore. / Capacità e resistenza in un condensatore con dielettrico resistivo. Resistenza di uno strato sferico.
- 6 aprile** (1 ora) Generatore di Van der Graaf. Fine esercizio con costante dielettrica variabile.
- 7 aprile** (2 ore) Campo magnetico, alcune osservazioni sperimentali. Forza di Lorentz. / Esercizio risucchio liquido in un condensatore cilindrico.
- 8 aprile** (2 ore) Dimostrazione esperienze Elettrostatica.
- 11 aprile** (2 ore) Azioni su un circuito percorso da corrente in campo B. Prima parte del principio di equivalenza di Ampère. Momento meccanico su spira rettangolare in B uniforme e costante. Momento magnetico di una piccola spira. Azioni su una piccola

spira. Momento magnetico di un disco ruotante carico. Moto di una particella carica in campo magnetico.

- 12 aprile** (2 ore) Esempi di applicazione di forza di Lorentz: selettore di velocità, spettrometro di massa, bottiglia magnetica, ciclotrone, sincrotrone. / Prima parte problema n. 1 15/7/2011 (da riprendere).
- 13 aprile** (1 ora) Carica e scarica di un condensatore. Fine problema n. 1 15/7/2011.
- 20 aprile** (1 ora) Prima formula di Laplace, Legge di Biot-Savart, formula fondamentale della magnetostatica nel vuoto. Campo magnetico da un filo rettilineo infinito percorso da corrente.
- 21 aprile** (2 ore) Solenoidalità del campo B: da linee chiuse di campo, da divergenza dell'espressione del campo B di un circuito. II equazione di Maxwell stazionaria. / Teorema della circuitazione di Ampère, IV equazione di Maxwell stazionaria (per questi argomenti si vedano appunti sul sito e appunti di lezione).
- 22 aprile** (2 ore) Calcolo campo B sull'asse di una spira percorsa da corrente. B_0 in un solenoide reale e ideale: da circuitazione di Ampere e da calcolo diretto per B sull'asse. / Problema n. 1 del 18-5-2012 quesiti a e b, vedere da soli c e d.
- 26 aprile** (2 ore) Problema n. 2 del 29-4-2016, Problema n. 1 del 16-7-2021, Campo B da un nastro percorso da corrente.
- 27 aprile** (2 ore) Potenziale magnetostatico scalare, seconda parte teorema equivalenza di Ampere.
- 28 aprile** (3 ore) Compito di esonero 1
- 29 aprile** (2 ore) Commenti potenziale magnetostatico scalare. Potenziale magnetico vettore e sue proprietà. Trasformazione di gauge. Formula del potenziale. Caso di una piccola spira: potenziale e campo B_0 .
- 2 maggio** (2 ore) Forze tra fili percorsi da correnti. Effetto Hall. Forza tra fili paralleli. Campo B intorno a un conduttore cilindrico percorso da corrente.
- 3 maggio** (2 ore) Introduzione magnetismo nella materia. Modello classico dell'atomo idrogeno. Momento magnetico orbitale e di spin. Rapporto giromagnetico.
- 4 maggio** (1 ora) IV equazione di Maxwell stazionaria. Derivazione diretta da legge di Biot-Savart (non in programma).
- 5 maggio** (2 ore) Intensità di magnetizzazione. Correnti amperiane di volume e di superficie: relazioni con intensità di magnetizzazione. / Calcolo del campo B_0 da una corrente che scorre sulla superficie di un piano infinito, calcolo con integrale.
- 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. / Campo magnetico all'interno di un solenoide

con all'interno materiale magnetico. / Esercizio su campo magnetico: correnti amperiane su un cilindro magnetizzato. Calcolo del campo B_0 da una corrente che scorre sulla superficie di un piano infinito, calcolo da teorema della circuitazione.

- 9 maggio** (2 ore) Proprietà macroscopiche di sostanze diamagnetiche, paramagnetiche e ferromagnetiche. Prima parte esercizio n. 2 del 24/3/2006: momento magnetico di uno strato sferico carico ruotante.
- 10 maggio** (2 ore) Campo magnetico locale, domini di Weiss. Precessione e momento magnetico di Larmor. Interpretazione microscopica del diamagnetismo. Seconda parte esercizio n. 2 del 24/3/2006: campo magnetico al centro di uno strato sferico.
- 11 maggio** (1 ora) Interpretazione proprietà microscopiche paramagnetismo e ferromagnetismo (da completare). Ciclo di isteresi.
- 12 maggio** (2 ore) Fine proprietà materiali ferromagnetici (Legge Curie-Weiss). Circuiti magnetici. Legge di Hopkinson. / Esercizio n. 1 del 22/3/2004.
- 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).
- 16 maggio** (2 ore) Legge di Faraday-Neumann-Lenz. Elettromagnete.
- 17 maggio** (2 ore) Induzione elettromagnetica in un circuito in moto in un campo magnetico costante. / 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.
- 18 maggio** (1 ora) Campo elettromagnetico indotto in circuiti in moto relativo e trasformazione di campi tra sistemi di riferimento.
- 19 maggio** (2 ore) Induzione elettromagnetica nel moto di un circuito in campo B dipendente dal tempo. Terza equazione di Maxwell. Elettromagnete. Magnete permanente. Sbarretta metallica in moto in un campo B.
- 20 maggio** (2 ore) Autoinduzione, coefficiente di autoinduzione. Induttanza del solenoide. 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).
- 23 maggio** (2 ore) Mutua induzione, Legge di Felici, energia dissipata nel ciclo di isteresi. Correnti parassite. Moto di caduta di un'asticella pesante in un campo magnetico. Velocità e corrente. Prima parte esercizio n. 3 del compito del 3-7-2008.
- 24 maggio** (2 ore) Energia magnetica in sistema di circuiti. Forza da campo magnetico. Fine esercizio n. 3 del compito del 3-7-2008. Forza magnetica su un cilindro di materia in un solenoide percorso da corrente. Esercizio n. 1 del 13-6-2013 (circuito magnetico).

- 25 maggio** (1 ora) Esercizio n. 1 del 13-6-2013 (circuito magnetico).
- 26 maggio** (2 ore) IV equazione di Maxwell. Corrente di spostamento. Esempio della scarica del condensatore piano. Problema n. 3 del 6-7-2006.
- 27 maggio** (2 ore) Seconda dimostrazione in Aula Amaldi. Bussola tangenti, tubo di Lenz, forza di Lorentz, Induzione in una bobina posta in campo magnetico e in anelli coassiali a un solenoide. Pendolo di Waltenhofen. Simulatore di regioni di Weiss.
- 30 maggio** (2 ore) Commenti alle equazioni di Maxwell. Densità di corrente di polarizzazione. Esercizio n. 2 del 13-6-2008.
- 31 maggio** (2 ore) Equazione delle onde e.m., velocità della luce. Onde progressiva e regressiva. Onde sinusoidali. Soluzione delle onde e.m.. / Forza per allontanare un'ancora da un elettromagnete a ferro di cavallo.
- 1 giugno** (1 ora) Onde e.m. piane: relazioni tra i campi E e B e con direzione moto. Impedenza caratteristica. Energia elettrica e magnetica nell'onda.
- 3 giugno** (2 ore) Vettore di Poynting. Caso dell'onda piana, significato del vettore di Poynting. Vettore di Poynting e potenza dissipata in un resistore. Esempio della scarica del condensatore. (vedi appunti su sito o libro).
- 6 giugno** (2 ore) Onde e.m. in direzione qualsiasi. Onde periodica sinusoidale (monocromatica). Onde sferiche. Energia trasferita dall'onda per unità di volume e di tempo. Quantità di moto trasferita dall'onda per unità di volume e di tempo. Pressione di radiazione.
- 7 giugno** (2 ore) Potenziali elettrodinamici. Trasformazioni di gauge. Gauge di Lorenz e di Coulomb. Potenziali ritardati. / Vettore di Poynting: esercizio n. 3 del compito 21/12/2014.
- 8 giugno** (1ora) Irraggiamento da un dipolo elettrico oscillante.
- 9 giugno** (2 ore) Covarianza relativistica dell'elettrodinamica. Quadridensità di corrente. Quadripotenziale. Equazioni del 4-potenziale e covarianza dell'elettrodinamica.
- 10 giugno** (2 ore) Equazione di continuità. Covarianza relativistica elettrodinamica: 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 dell'onda. Cenno a 4-forza su una particella carica. L'interazione elettromagnetica, e le altre, unificazione e problemi aperti.