Argomenti delle lezioni del corso di Elettromagnetismo 2020-21

- 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.
- 26 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.
- 1 marzo (2 ore)** 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. / Flusso di un vettore. Teorema di Gauss.
- 2 marzo (1 ora)** Teorema di Gauss. Commenti sul teorema. Teorema della divergenza. Operatore Nabla. Prima equazione di Maxwell. Commenti sulla prima equazione di Maxwell.
(1 ora) Esercitazioni: Esempio: Calcolo completo di campo da un filo carico e da un piano carico. Campo da un filo carico e da un piano uniformemente carico usando il teorema di Gauss.
- 3 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. Coordinate sferiche, gradiente in coordinate sferiche. Componenti del campo in coordinate sferiche.
- 5 marzo (2 ore)** Potenziale per un piano carico. Esercizi di elettrostatica. / Dipolo elettrico. Potenziale del dipolo elettrico. Potenziale e campo in coordinate sferiche.
- 8 marzo (2 ore)** Campo elettrico del dipolo in coordinate cartesiane. 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. Linee di forza e rappresentazione di Faraday.
- 9 marzo (2 ore)** Sviluppo in serie di multipoli. Proprietà del momento di dipolo elettrico (Vedi appunti). / Potenziale e campo in doppio strato (Vedi appunti).
- 10 marzo (2 ore)** Tensore quadrupolo elettrico (facoltativo). / Distribuzioni di carica a simmetria sferica, sfera uniformemente carica e superficie sferica carica. Potenziale e campo sull'asse di un anello carico.
- 12 marzo (2 ore)** Campo elettrico conservativo. Operatore rotore. Rotore del campo elettrico e commenti. Calcolo del campo elettrico da I equaz. Maxwell. Esempi di calcolo di momenti di dipolo: sbarretta, circonferenza.
- 15 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)
----> Si suggerisce di vedere gli esempi/esercizi I.9 e I.10 sul Mencuccini-Silvestrini

- 16 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:** Dipolo elettrico nel campo di una carica puntiforme: momento meccanico e oscillazioni del dipolo
- 17 marzo** (1 ora) Capacità di un conduttore. Capacità di un conduttore sferico. Caso di più conduttori. Matrice dei potenziali e di capacità. Condensatore elettrostatico. / (1 ora) **Esercitazione:** Problema con dipolo in campo da carica puntiforme: forza sul dipolo.
- 18 marzo** (2 ore) Capacità di condensatori piano, sferico, cilindrico. / Esempio di calcolo di coefficienti di potenziale (M-S E II.6). Calcolo di dipoli elettrici. Serie e parallelo di condensatori.
- 19 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:** Momento di dipolo di una semicorona carica e una carica puntiforme di segno opposto al centro. Esercizio n.1 6/11/2013.
- 22 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). Capacità ed energia elettrostatica per una sfera conduttrice carica dentro un conduttore sferico cavo, schematizzazione con serie di condensatori.
- 23 marzo** (2 ore) Equazione di Poisson, Problema generale dell'elettrostatica. Problemi di Dirichlet e di Neumann. (vedi appunti sul sito). / Metodo delle cariche immagine. Esempio della carica puntiforme davanti a un piano conduttore (vedi appunti sul sito).
- 24 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.
- 25 marzo** (2 ore) Introduzione ai dielettrici. Polarizzazione per deformazione e per orientamento / **Esercitazione:** Energia elettrostatica di una sfera carica uniformemente e raggio classico dell'elettrone. Momento di dipolo di distribuzione sferica.
- 26 marzo** (2 ore) Polarizzazione per orientamento. Vettore intensità di polarizzazione e cariche di polarizzazione. (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)
- 29 marzo** (2 ore) 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). Suscettività per vapori e per dielettrici densi. Formula di Clausius-Mossotti. / **Esercitazione:** Esercizio 1 del compito 2-9-2009 (prima parte in vari modi).

- 30 marzo** (2 ore) Vettore spostamento elettrico. Equazioni dell'elettrostatica in presenza di dielettrici. Teorema di Gauss per D. Problema dell'elettrostatica nel caso di un solo dielettrico e per più dielettrici. / Esercizio 1 del compito 2-9-2009 (seconda parte in vari modi). Operatori differenziali in coordinate sferiche e cilindriche.
- 31 marzo** (2 ore) Elettrostatica nel caso di più dielettrici. Condizioni sui campi alla superficie di separazione. Legge di rifrazione delle linee di campo alla superficie di separazione tra due dielettrici. Definizione operativa dei campi E e D nei dielettrici. Energia elettrostatica nei dielettrici. / Esempio di una sfera carica immersa in un dielettrico perfetto e isotropo. Dielettrico in un condensatore piano. Cariche di polarizzazione. Inizio studio del caso di un conduttore carico circondato da uno strato sferico di dielettrico perfetto e isotropo e poi da un dielettrico con suscettività proporzionale alla distanza dal centro.
- 7 aprile** (2 ore) **Esercitazioni:** Problema iniziato nell'ultima lezione. Esempio di un condensatore con due diversi dielettrici: campi e cariche di polarizzazione. Rigidità elettrica. Risucchio di un dielettrico in un condensatore piano.
- 9 aprile** (2 ore) **Esercitazioni:** problemi n. 2 del 29-4-2016, Nigro-Voci 4.2, n. 1 15-7-2011 tranne ultima domanda.
- 12 aprile** (2 ore) Introduzione correnti elettriche. Modello classico di gas di elettroni. Potenza trasferita dal campo elettrico. Velocità di deriva. Vettore densità di corrente. / Esercizio di elettrostatica Mencuccini-Silvestrini 2.14. Coordinate cilindriche e operatori differenziali gradiente e divergenza.
- 13 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. / Esercizi di elettrostatica.
- 14 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.
- 19 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. /
- 20 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.

- 21 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:
- 22 aprile** (2 ore) Esempi di applicazione di forza di Lorentz: selettore di velocità, spettrometro di massa, bottiglia magnetica, ciclotrone, sincrotrone. Carica e scarica di un condensatore. Generatore di Van der Graaf. Esperimento di Millikan.
- 23 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. Campo magnetico in un solenoide: calcolo completo e da circuitazione.
- 26 aprile** (2 ore) Potenziale magnetico scalare, seconda parte del teorema di equivalenza di Ampère (dimostrazione facoltativa M-S V.5.1). / Campo magnetico per superficie percorsa da una corrente uniforme.
- 27 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.
- 28 aprile** (2 ore) Forze tra fili percorsi da correnti. Effetto Hall. Forza tra fili paralleli. Campo B intorno a un conduttore cilindrico percorso da corrente. IV equazione di Maxwell stazionaria da legge di Biot e Savart (non in programma)
- 30 aprile** (2 ore) Esercizi su campo magnetico nel vuoto. Problemi n. 1 del 22-3-2004, n. 2 de 15-2-2011, n. 2a del 24-3-2006 (da completare).
- 3 maggio** (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) 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.
- 7 maggio** (2 ore) Proprietà macroscopiche di sostanze ferromagnetiche. Precessione di Larmor. Interpretazione microscopica del diamagnetismo.
- 10 maggio** (2 ore) Interpretazione proprietà microscopiche diamagnetismo, paramagnetismo e ferromagnetismo.

- 11 maggio** (2 ore) Calcolo potenziale vettore di un filo percorso da corrente. Problemi ferromagnetismo. 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. / Esercizio n. 3 del 3/7/2008.
- 14 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).
- 17 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. Campo elettromagnetico indotto in circuiti in moto relativo e trasformazione di campi tra sistemi di riferimento /Elettromagnete.
- 19 maggio** (2 ore) Induzione elettromagnetica nel moto di un circuito in campo B dipendente dal tempo. Terza equazione di Maxwell. Magnete permanente. Sbarretta metallica in moto in un campo B .
- 21 maggio** (2 ore) Dimostrazione di Elettromagnetismo in Aula Amaldi.
- 24 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).
- 25 maggio** (2 ore) Induzione mutua. Legge di Felici (VII.4). Energia magnetica e densità di energia magnetica (da esempio in solenoide VII.6). Energia magnetica in ciclo di isteresi. Fine esercizio n. 3 del 3/7/2008.
- 26 maggio** (2 ore) Energia magnetica in sistema di circuiti. Forza da campo magnetico. Forza magnetica tra le spire di un solenoide.
- 28 maggio** (2 ore) Corrente di spostamento, equazioni di Maxwell
- 28 maggio** (2 ore) Esercizio su forza elettromotrice indotta: asticella metallica che scivola su due binari conduttivi connessi da resistenza in un campo magnetico verticale uniforme. Esercizio n. 1 del 13-6-2013 (circuiti magnetici).
- 31 maggio** (2 ore) Equazione delle onde e.m., velocità della luce. Onde progressiva e regressiva. Onde sinusoidali. / Esercizio su induzione elettromagnetica n. 3 6/7/2006.
- 1 giugno** (2 ore) Soluzione delle onde e.m.. Onde e.m. piane: relazioni tra i campi E e B e con direzione moto. Impedenza caratteristica. Energia elettrica e magnetica nell'onda. Onda con direzione di propagazione generica.

- 4 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. Onda e.m. monocromatica. Onde e.m. sferiche.
- 7 giugno** (2 ore) Energia e quantità di moto trasferita dall'onda e.m.. Pressione di radiazione. Esercizio vela solare. Esercizio n. 2 13-6-2008.
- 8 giugno** (3 ore) Potenziali elettrodinamici. Trasformazioni di gauge. Gauge di Lorenz e di Coulomb. Potenziali ritardati. / **Esercitazione:** Risucchio cilindro, Disco di Faraday. Vettore di Poynting: esercizio n. 3 del compito 21/12/2014.
- 9 giugno** (2 ore) **Esercitazione:** Problema n. 2 del 21-6-2018. Esercizio su forze tra un solenoide e un secondo solenoide coassiale in parte inserito all'interno del primo.
- 11 giugno** (2 ore) Irraggiamento da un dipolo elettrico oscillante.
- 14 giugno** (2 ore) Covarianza relativistica dell'elettrodinamica. Quadridensità di corrente. Quadripotenziale. Equazioni del 4-potenziale e covarianza dell'elettrodinamica. Equazione di continuità.
- 15 giugno** (3 ore) 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.