

Programma dettagliato del corso di Fisica II (AA 2012-2013)

- 1) Assiomi dell'elettrostatica: carica elettrica di un punto materiale e sua interpretazione microscopica. Legge di Coulomb. Principio di sovrapposizione. Unità di misura del sistema internazionale. (G capitolo 2.1)
- 2) Campo classico e azione a distanza. Il campo elettrico. Campo prodotto da cariche puntiformi. Campo prodotto da distribuzioni continue di cariche. Segmento, anello, disco e condensatore piano (G 2.1 , Mazzoldi 1.5)
- 3) Angoli piani e solidi (appunti). La costruzione geometrica di Faraday (linee di campo) (G. 2.2.1). Il teorema del flusso di Gauss e la dimostrazione basata sull'angolo solido (Mazzoldi 3.4). La legge di Gauss per l'elettrostatica e per la gravità; la derivazione del teorema del guscio sferico. Esempi di uso della legge di Gauss: piani paralleli (G 2.2).
- 4) Divergenza di una funzione vettoriale (G 1.2). Il teorema della divergenza (G 1.3). La legge di Gauss in forma differenziale (prima equazione di Maxwell) (G 2.2.1). *Deduzione formale della legge di Gauss (Marsden p.570).*
- 5) Il rotore di una funzione vettoriale (G 1.2). Irrotazionalità e conservatività dei campi. Il potenziale elettrico (G 2.3.1-2). *Calcolo esplicito del rotore di E (Pollack 3.3).* Il teorema di Stokes. Il lavoro e l'energia potenziale del campo elettrostatico (G 2.4).
- 6) L'energia del campo elettrostatico (G 2.4). Il teorema della conservazione dell'energia meccanica in un campo Coulombiano e Newtoniano (Mazzoldi 2.3). *Energia elettrostatica di due piani indefiniti carichi (appunti).*
- 7) Definizione e proprietà dei conduttori e la loro interpretazione microscopica (G 2.5). Dimostrazione che E è perpendicolare alla superficie. La gabbia di Faraday e il Teorema di Coulomb. (Mazzoldi 4.1-2). *Il parafulmine (appunti).*
- 8) Il problema generale dell'elettrostatica e l'equazione di Poisson e Laplace (G 2.3.3 e 3.1). Condizioni al contorno di Dirichlet e Neumann. Teorema del massimo e della media per funzioni armoniche (senza dim.). Teorema di Earnshaw (senza dim). Teoremi di unicità (*dimostrazione opzionale*) (G 3.1; *trattazione rigorosa in Strauss cap.6*).
- 9) Cariche elettriche in moto: la corrente elettrica, la densità di corrente (G 5.1.3, Mazzoldi 5.1-2). Il principio di conservazione della carica. Conservazione globale e locale: l'equazione di continuità in elettrodinamica (G 5.1.3 o, meglio, Pollack 7.2). La corrente nei conduttori: la legge di Ohm e Joule (G 7.1.1 o Mazzoldi 5.3).
- 10) Introduzione al concetto astratto di circuito (appunti). Elementi dei circuiti elettrici: generatore di tensione e forza elettromotrice (G 7.1.2), condensatore (G 2.5.4 o Mazzoldi 4.3) e capacità del condensatore piano, resistenze (Mazzoldi 5.3 o G 7.1). Circuiti RC (Mazzoldi 5.7).
- 11) Leggi di Kirchhoff (Mazzoldi 5.9). Elementi in serie e in parallelo (Mazzoldi 4.4 e 5.5). Soluzione di circuiti elettrici: il metodo degli anelli (appunti).
- 12) Magnetostatica, definizione e assiomi: la forza di Lorentz (G 5.1), la prima legge elementare di Laplace (o legge di Biot-Savart generalizzata, che funge da definizione di campo magnetico) (Mazzoldi 7.1), il principio di sovrapposizione. *Magnetostatica e trasformazioni di Galileo (appunti)* . Campo magnetico di un

filo indefinito e deduzione della legge di Biot-Savart (Mazzoldi 7.2). Seconda legge elementare di Laplace (Mazzoldi 6.3, 6.4). Forze tra fili paralleli percorsi da corrente (Mazzoldi 7.3)

13) La divergenza di B e l'assenza di sorgenti magnetiche (G 5.3.2). *Una dimostrazione costruttiva di $\text{div } B=0$ (Pollack 8.3.3). L'assenza di monopoli magnetici e la congettura di Dirac (appunti)*. Il potenziale vettore magnetico (G 5.4.1).

14) La legge di Ampere per un filo indefinito (G 5.3.1). La delta di Dirac (G 1.5) e sue applicazioni (passaggio dal continuo al punto materiale, generalizzazione della legge di Gauss per il punto materiale). *Dimostrazione generale della legge di Ampere e $\text{rot } B$ (G 5.3.2)*.

15) Applicazioni della legge di Ampere: il filo e il solenoide risolto con considerazione di simmetria (G 5.3.3). Il piano indefinito con correnti superficiali. Il toroide a sezione arbitraria (G.5.3)

16) Il problema generale della magnetostatica e il gauge di Coulomb (G 5.4). *Calcolo di potenziale vettore per il solenoide (G 5.4). Il campo magnetico è conservativo? (appunti)*

17) Richiamo sulla forza elettromotrice. Circuiti in moto e f.e.m. dovuta al moto (G 7.1.2, 7.1.3). La regola del flusso (inclusa la dimostrazione - G p.296). Gli esperimenti di Faraday e la legge di Faraday-Neumann-Lenz. Campo elettrico nello spazio prodotto da B variabile nel tempo (G 7.2).

18) Il regime quasi statico (G p.308). Mutua induttanza, autoinduttanza e formula di Neumann (G 7.2). L'induttanza nei circuiti elettrici. (G 7.2). I circuiti in regime quasi-statico. Circuiti RL in accensione e spegnimento (appunti).

19) Trasporto di energia nei regimi quasi-statici. Energia del condensatore (G 2.5.4) e dell'induttore (G 7.2.4). Energia del campo magnetico (G 7.2.4). *Oscillatori elettrici. Circuito LC (appunti)*.

20) Inconsistenza tra leggi di Gauss, Faraday, Ampere e $\text{div } B=0$. Il paradosso di Maxwell per un condensatore in carica (G 7.3.1) La corrente di spostamento e la legge di Ampere-Maxwell. Le equazioni di Maxwell (G 7.3.2-3). I potenziali elettrodinamici (G 10.1.1).

21) Leggi di conservazione in elettrodinamica: il vettore di Poynting e il teorema di Poynting (con dimostrazione) (G 8.1). Il tensore degli sforzi di Maxwell e il momento del campo elettromagnetico (senza dimostrazioni G 8.2). Il principio di conservazione dell'energia e della quantità di moto in elettrodinamica. (G 8.1-2)

22) Richiami sul concetto di onda. La corda vibrante. L'equazione di D'Alembert e la soluzione per separazione di variabili (appunti o Strauss 2.1). Onde sinusoidali: lunghezza d'onda, numero d'onda, periodo, onde in notazione complessa (G 9.1.2). *Il teorema dell'inversione (appunti o Rudin p.185)*. Onde vettoriali e polarizzazione. (G 9.1 e appunti).

23) L'equazione di D'Alembert nello spazio e la soluzione di Poisson (formula di Kirchhoff). Deduzione dell'equazione delle onde dalle eq. di Maxwell. Le onde elettromagnetiche. La velocità della luce. *Il paradosso del principio zero della termodinamica (appunti)*. Le onde elettromagnetiche piane: trasversalità e relazioni tra E e B . (G 9.2). *Definizione rigorosa di spazio, tempo, velocità e carica nel sistema SI (appunti)*.

24) Energia e momento di un'onda elettromagnetica. Pressione di radiazione e interpretazione fisica (G 9.2.3). *Onde sferiche (Pollack p.434-437). Paradosso di Kelvin sulla vita del sole (appunti)*.

- 25) Cenni di elettrodinamica nei materiali in preparazione all'ottica (appunti). L'indice di rifrazione (G 9.3.1). Condizioni al contorno nelle interfacce dei mezzi (G 7.3.6). La propagazione delle onde nei mezzi materiali. (G 9.3.1). *Assorbimento e indici di rifrazione complessi: la finestra di trasparenza dell'acqua (appunti o Jackson 7.5 E).*
- 26) Riflessione e trasmissione nei mezzi lineari: caso incidenza normale e obliqua. Deduzione delle leggi classiche di Cartesio (G 9.3.2-3).
- 27) Definizione di angolo di Brewster e angolo di riflessione totale. *Equazioni di Fresnel per onde TM. Onde TE (G 9.3.3). Fibre ottiche. Una spiegazione intuitiva dell'esistenza dell'angolo di Brewster nelle onde TM (appunti o Rosati p. 601).*
- 28) Interferenza di due onde: calcolo dell'intensità. Coerenza. Formula per N sorgenti incoerenti e N coerenti (appunti o Rossi p.170 e succ.)
- 29) L'esperimento di Young (Mazzoldi 13.2). L'interferometro di Michelson (Mazzoldi 13.4 o, piu' rigoroso, Sharma 6.4.1). Interferenza da N sorgenti equidistanziate (Mazzoldi 13.6).
- 30) L'interpretazione meccanica delle onde (Maxwell-Kelvin). L'esperimento di Michelson-Morley. L'esperimento di Fizeau. (appunti)
- 31) Il primo assioma della Teoria della relativita' Ristretta. Simultaneita' e dilatazione del tempo (G 12). Il secondo assioma. *Lo spazio-tempo e la sua struttura affine* (appunti o note Falqui). Classificazione di Minkowski delle grandezze fisiche: scalari, vettori e tensori. Riformulazione secondo Minkowski del secondo assioma. Covarianza e covarianza a vista (appunti).
- 32) Le trasformazioni di Lorentz (senza derivazione). Contrazioni delle lunghezze di Lorentz-FitzGerald. Teorema della dilatazione dei tempi. Teorema di composizione delle velocita'. Spiegazione dell'esperimento di Fizeau (appunti).
- 33) Complementi sul formalismo di Minkowski: spazio-tempo di Minkowski, vettori covarianti e controvarianti. Invarianti di Lorentz. Tempo proprio, quadrivelocita', quadrimomento (appunti). [In alternativa, meno rigoroso ma sufficiente per l'esame: Pollack 12.1] Principio di conservazione del quadrimomento. *Il teorema di Noether e la conservazione del quadrimomento.*
- 34) Particelle dotate di massa a riposo. Particelle prive di massa a riposo. *Il campo elettromagnetico e il fotone.* Analogo relativistico delle leggi di Newton: prima legge, seconda legge ($F=dp/dt$), terza legge (non vale azione-reazione ma vale la conservazione della quantita' di moto) (appunti o G 12.2.4). Il teorema dell'energia cinetica in relativita'. La Forza di Minkowski (G 12.2.4 o Pollack 12.2).
- 35) La carica elettrica come scalare di Lorentz. Le trasformazioni di Lorentz per densita' di carica e corrente (appunti). Tetracorrente. Principi di conservazione della carica e equazione di continuita' in forma covariante (appunti o Pollack 12.3.2). Quadripotenziale. Tensore del campo elettromagnetico. La forza di Lorentz in forma covariante. (Pollack 12.2.3, 12.3.1).
- 36) Scrittura delle equazioni di Maxwell in forma covariante e tensore duale (Pollack 12.3.2). Trasformazioni dei campi (senza dim.) (Pollack 12.4). Campo elettrico uniforme per osservatore in moto. (Pollack p.466-467). Teorema di trasformazione dei sistemi elettrostatici (Pollack esercizio 12.17). *Perche' gli effetti magnetici sono piu' piccoli di quelli elettrici (appunti).*

37) Campo di una carica in moto uniforme e campo di una corrente continua (Pollack 12.5). Compatibilità con la legge di Biot-Savart: linea carica, filo nella descrizione dell'ottocento, filo nella descrizione moderna (Pollack p. 473-474)

38) Effetto Doppler: classico (appunti o Mazzoldi 16.7) e relativistico (Pollack p.467-468). *Redshift, legge di Hubble e Big Bang (appunti)*.

39) I potenziali elettromagnetici. Il problema generale dell'elettrodinamica. Scrittura compatta: dalembertiano e termine L di Lorenz. Univocità dei potenziali e trasformazioni di gauge. Gauge di Coulomb e gauge di Lorenz (G 10.1). Il problema generale dell'elettrodinamica in gauge di Lorenz (eq. di D'Alembert disomogenee). *Covarianza del gauge di Lorenz, quadripotenziali e covarianza delle equazioni di D'Alembert disomogenee (G 12.3.5)*.

40) Potenziali ritardati. Potenziali ritardati come soluzioni delle equazioni di D'Alembert disomogenee: il teorema di Lorenz-Riemann (*dimostrazione opzionale*) (G p.424). *Potenziali anticipati*. La generalizzazione della legge di Coulomb e Biot-Savart: le equazioni di Jefimenko. (G 10.2)

41) Sorgenti di onde elettromagnetiche: la radiazione. *Calcolo della radiazione da un dipolo elettrico* (G 11.1.1-2). Proprietà della radiazione dal dipolo elettrico.

42) Campo elettrico di un punto materiale (senza dim) (G 11.2.1). Derivazione della formula di Larmor. La formula di Larmor-Lienard (G p. 449). L'instabilità degli atomi (Pollack p.586).

43) Diffrazione dalle eq. di Maxwell: la teoria scalare della diffrazione di Kirchhoff. La reinterpretazione del principio di Huygens-Fresnel (appunti o Sharma 7.1-4). *Derivazione dell'integrale di Kirchhoff* (Sharma 7.4.2). Definizione di diffrazione di Fresnel e Fraunhofer

44) La diffrazione di Fraunhofer e la connessione con la trasformata di Fourier (Sharma 10.1). Def. di trasformata di Fourier. Trasformata di Fourier della funzione rettangolare (Sharma 9.3). *Il seno cardinale e le sue proprietà rispetto all'integrale di Lebesgue*.

45) Diffrazione da una fenditura finita (Sharma 10.2.1). Trasformata di Fourier della delta di Dirac (Sharma 9.3.1.2). Diffrazione da fenditura di lunghezza infinita. *Il concetto di convoluzione. (appunti)*

46) Il teorema dell'array (Sharma 10.4). Diffrazione da due fenditure (Sharma 10.4.1) e da apertura circolare (Sharma 10.2.3). Il disco di Airy e il criterio di Rayleigh (Sharma 10.2.3 e Mazzoldi 14.4). *I telescopi*.

47) Il reticolo di diffrazione (Sharma 10.5). Calcolo dell'intensità risultante usando il teorema dell'array (Sharma 10.5). Potere risolutivo del reticolo e applicazioni (Mazzoldi 14.5).

48) La fine dell'elettromagnetismo classico: l'effetto fotoelettrico, la congettura di Einstein-Planck. L'effetto Compton. Il fotone (appunti, Mazzoldi 15.4-5, 15.8).

NOTA: gli argomenti in *italics* sono da ritenersi opzionali.

Testi:

G : D. Griffiths, Introduction to electrodynamics, Prentice Hall, 3rd (International) Edition, 1998 (2007).

Mazzoldi: P. Mazzoldi, M. Nigro, C. Voci, Elementi di Fisica Vol. 2, Elettromagnetismo e onde, Edises, 2a edizione, 2008.

Pollack: G. Pollack, D. Stump, Electromagnetism, Addison Wesley, 2001 [usato soprattutto per la parte di elettrodinamica relativistica: cap 12].

Sharma: K. K. Sharma, Optics: principles and applications, Academic Press, 2006 [usato soprattutto per la parte di diffrazione: capp 7-10].

Testi usati saltuariamente:

Giusti: E. Giusti, Analisi matematica 2, 3a edizione, Boringhieri, 2003

Rosati: L. Lovitch, S. Rosati, Fisica Generale, elettricità, magnetismo, ottica, CEA, 2da edizione, 1983.

Jackson: J. D. Jackson Classical Electrodynamics, Wiley; 3rd edition 1998.

Marsden: J. Marsden, A. Tromba, Vector Calculus, W. H. Freeman; 5th edition, 2003.

Strauss: W. Strauss, Partial Differential Equations: An Introduction, Wiley; 1st edition, 1992.

Falqui: Gregorio Falqui Appunti di relatività in <http://www.matapp.unimib.it/~falqui/SDMC/mecc.html>

Rudin: W. Rudin, Real and complex analysis, McGraw-Hill, 3rd edition, International edition, 1987

Rossi: B. Rossi, Ottica, Masson, 1984.