

## Programma dettagliato del corso di Fisica II (AA 2011-2012)

- 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) 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) Forme differenziali. Il teorema di Gauss-Green (Giusti p.163-168). 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 (Mardsen p.570).*
- 5) Forme differenziali chiuse e esatte (Giusti p.163-168). Il potenziale elettrico (G 2.3.1-2). *Calcolo esplicito del rotore di E (Pollack 3.3).* 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). *Interpretazione microscopica (G 7.1 o Mazzoldi 5.4).*
- 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) Elementi in serie e in parallelo (Mazzoldi 4.4 e 5.5). Leggi di Kirchhoff (Mazzoldi 5.9). 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. Campo magnetico di un filo indefinito e deduzione della legge di Biot-Savart

(Mazzoldi 7.2). Punto materiale in un campo magnetico e prima legge elementare di Laplace (Mazzoldi 6.3, 6.4, 6.7). 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). *Dimostrazione generale della legge di Ampere e  $\text{rot } B$  (G 5.3.2). Confronto tra elettrostatica e magnetostatica. Il campo magnetico è conservativo? (appunti)*

15) Applicazioni della legge di Ampere: il filo e il solenoide risolto con considerazione di simmetria (G 5.3.3) Il problema generale della magnetostatica e il gauge di Coulomb (G 5.4). *Calcolo di potenziale vettore per il solenoide (G 5.4).*

16) Richiamo sulla forza elettromotrice. Circuiti in moto e "motive EMF" (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).

17) Mutua induttanza, autoinduttanza e formula di Neumann (G 7.2). L'induttanza nei circuiti elettrici. (G ch 7.2). I circuiti RL in accensione e spegnimento (appunti).

18) 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 RLC. (appunti)*

19) Inconsistenza tra leggi di Gauss, Faraday, Ampere e  $\text{div } B=0$ . La corrente di spostamento e la legge di Ampere-Maxwell. Le equazioni di Maxwell (G 7.3.1-3) e i potenziali vettori elettromagnetici (G 10.1.1). *Cenno al Teorema di Helmholtz (G 1.6 e Appendix B).*

20) 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).

21) Richiami sul concetto di onda. 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). Pacchetti d'onda e principio di indeterminazione classico (appunti).*

22) Deduzione dell'equazione delle onde dalle eq. di Maxwell. Le onde elettromagnetiche. La velocità della luce. 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). Il paradosso del principio zero della termodinamica e le onde elettromagnetiche (appunti).*

23) 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).*

24) 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).*

- 25) Riflessione e trasmissione nei mezzi lineari: caso incidenza normale e obliqua. Deduzione delle leggi classiche di Cartesio (G 9.3.2-3). *L'arcobaleno. Il principio di Fermat (appunti)*.
- 26) 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)*.
- 27) Interferenza di due onde: calcolo dell'intensità. Coerenza. Formula per N sorgenti incoerenti e N coerenti (appunti o Rossi p.170 e succ.)
- 28) 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).
- 29) L'interpretazione meccanica delle onde (Maxwell-Kelvin). L'esperimento di Michelson-Morley. L'esperimento di Fizeau. La falsificazione dell'ipotesi dell'etere. *Richiami sulla definizione di spazio-tempo, trasformazioni affini e definizione formale delle trasformazioni di Galileo (appunti o note Falqui)*.
- 30) La matrice di trasformazione per le trasf. di Galileo (senza dim). La legge di composizione delle velocità galileiane (appunti o note Falqui). Definizione generale di scalare, vettore, tensore. Definizione delle trasformazioni di Lorentz. Pseudometrica di Minkowsky. *Boost di Lorentz e deduzione della matrice di trasformazione di Lorentz per i boost (appunti o note Falqui)*. [In alternativa, meno rigoroso ma sufficiente per l'esame: Pollack 12.1]
- 31) Dilatazione del tempo, contrazioni di Lorentz-FitzGerald. Il teorema di composizione delle velocità (*dimostrazione opzionale*). *Reinterpretazione dell'esperimento di Michelson-Morley e Fizeau in relatività ristretta*. Prodotto scalare in notazione tensoriale. Il principio di covarianza in notazione tensoriale (appunti miei o di Diego Noja). [In alternativa, meno rigoroso ma sufficiente per l'esame: Pollack 12.2]
- 32) Principi di conservazione della carica e equazione di continuità in forma covariante (appunti). Conservazione del quadrimomento (Pollack 12.2.2). La forza di Lorentz relativistica: la forza di Minkowski (Pollack 12.2.3, 12.3.1). Il tensore del campo elettromagnetico (Pollack 12.3.1).
- 33) 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). Perché gli effetti magnetici sono piu' piccoli di quelli elettrici (appunti)*.
- 34) Campo di una carica in moto uniforme e campo di una corrente continua (Pollack 12.5). Compatibilità con la legge di Biot-Savart (Pollack p. 473-474)
- 35) Il magnetismo come effetto relativistico (*dimostrazione opzionale*) (Pollack 12.6). *Il piu' semplice sistema di assiomi dell'elettrodinamica. (appunti)*
- 36) Effetto Doppler: classico (appunti o Mazzoldi 16.7) e relativistico (Pollack p.467-468). *Redshift, legge di Hubble e Big Bang (appunti)*.
- 37) Il problema generale dell'elettromagnetismo. La formulazione in teoria di potenziale. Univocità dei potenziali e trasformazioni di gauge. Gauge di Coulomb e gauge di Lorentz. (G 10.1). *Covarianza del gauge di Lorentz, quadripotenziali e covarianza delle equazioni di D'Alembert disomogenee (G 12.3.5)*.

- 38) 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)
- 39) Sorgenti di onde elettromagnetiche: la radiazione. Calcolo della radiazione da un dipolo elettrico (G 11.1.1-2)
- 40) Campo elettrico di un punto materiale (senza dim) (G 11.2.1). Derivazione della formula di Larmor, il cielo blu (G p. 449) e l'instabilità degli atomi (Pollack p.586).
- 41) Diffrazione dalle eq. di Maxwell: la teoria 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)
- 42) Diffrazione di Fresnel (Sharma 8.1). Diffrazione da apertura circolare e zone di Fresnel (*dimostrazione opzionale*) Il principio di Babinet (Sharma 7.6) Il punto luminoso di Poisson/Arago (Sharma 8.3).
- 43) 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*.
- 44) 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)*
- 45) Il teorema dell'array (*dimostrazione opzionale*) (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 Reyleigh (Sharma 10.2.3 e Mazzoldi 14.4). *I telescopi*.
- 46) 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).
- 47) La fine dell'elettromagnetismo classico: l'effetto fotoelettrico, l'effetto Compton. L'esperimento di Davisson e Germer e l'ipotesi di De Broglie (appunti, Mazzoldi 15.4-5, 15.8)
- 48) *L'equazione di Schroedinger. Le misure quantistiche e la fine della fisica classica (appunti)*.

**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, 3<sup>rd</sup> edition, International edition, 1987

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