

Programma dettagliato del corso di Fisica II (AA 2013-2014)

- 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 piani (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 (Mardsen 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).
- 7) Definizione e proprietà dei conduttori e la loro interpretazione microscopica (G 2.5). Dimostrazione che E è perpendicolare alla superficie. Teorema di Coulomb. La gabbia di Faraday. (Mazzoldi 4.1-2, G 2.5.2). *Il parafulmine e il teorema della curvatura media (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 della media (senza dimostrazione) per funzioni armoniche. Teorema del massimo. Teorema di Earnshaw (senza dim). Teoremi di unicità per il problema di Dirichlet con eq. di Laplace e Poisson. *(dimostrazione opzionale; trattazione completa 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) (Mazzoldi 7.1), il principio di sovrapposizione. *Magnetostatica e trasformazioni di Galileo (appunti).*

- 13) 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)
- 14) 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).
- 15) La legge di Ampere per un filo indefinito (G 5.3.1). 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 (G 5.3.3).
- 16) Il problema generale della magnetostatica e il gauge di Coulomb (G 5.4).
- 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)
- 20) *Equivalenza tra assiomi dell'elettrostatica e assiomi basati su $\text{div } E = \rho/\epsilon_0$, $\text{rot } E = 0$. Il teorema di Helmholtz (senza dim.) (G 1.6.1).* 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)
- 21) 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).
- 22) Leggi di conservazione in elettrodinamica: il vettore di Poynting e il teorema di Poynting (con dimostrazione) (G 8.1). Il principio di conservazione dell'energia in elettrodinamica. (G 8.1-2)
- 23) 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).
- 24) 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).
- 25) 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.
- 26) 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).*
- 27) Energia e intensità di un'onda elettromagnetica (G 9.2.3). *Onde sferiche (Pollack p.434-437). Paradosso di Kelvin sulla vita del sole (appunti).*

- 28) 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).
- 29) Riflessione e trasmissione nei mezzi lineari: caso incidenza normale e obliqua. Deduzione delle leggi classiche di Cartesio (G 9.3.2-3).
- 30) 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).*
- 31) Interferenza di due onde: calcolo dell'intensità. Coerenza. Formula per N sorgenti incoerenti e N coerenti (appunti o Rossi p.170 e succ.).
- 32) L'esperimento di Young (Mazzoldi 13.2). L'interferometro di Michelson (Mazzoldi 13.4 o, più rigoroso, Sharma 6.4.1).
- 33) L'interpretazione meccanica delle onde (Maxwell-Kelvin). L'esperimento di Michelson-Morley. L'esperimento di Fizeau. (appunti)
- 34) Assiomi della Teoria della relatività Ristretta. Simultaneità e dilatazione del tempo (G 12.1.2). *Invarianza in forma e isotropia: equivalenza di Dixon (Rindler 2.5). Classi generali di trasformazioni per universi isotropi (Rindler 2.11). Le trasformazioni di Lorentz (senza dim.) (Rindler 2.7).*
- 35) Contrazioni delle lunghezze di Lorentz-Fitzgerald. Teorema di dilatazione dei tempi (Rindler 3.3-3.5). Teorema di composizione delle velocità (Rindler 3.6). Spiegazione relativistica dell'esperimento di Fizeau (appunti).
- 36) Vettori e vettori applicati: trasformazione di oggetti geometrici in forma controvariante e covariante. Scalari, vettori e tensori su generici spazi affini. Vettori covarianti: il gradiente. Definizione generale di vettori e tensori covarianti (Rindler 7.1-7.2, 5.4-5.6)
- 37) Lo spazio tempo di Minkowski $\mathcal{M}$. Spazi pseudo-Riemanniani. Tensore metrico di $\mathcal{M}$. Prodotto scalare e pseudo-norma (Rindler 7.2). Vettori timelike, spacelike, lightlike. Causalità (appunti e Rindler 5.1-5.3).
- 38) Differenza tra assiomi della meccanica newtoniana e relativistica. Formalismo covariante a vista (appunti). Definizione relativistica di (quadri)spostamento, tempo proprio, quadri-velocità, quadri-accelerazione, massa a riposo, quadrimomento, quadri-forza (Rindler 5.5, 6.10).
- 39) Dinamica relativistica secondo Lewis-Tolman: principio di conservazione del quadrimomento. Energia totale, $E=mc^2$ (Rindler 6.2-6.3). Particelle massive e non massive. *Il campo e.m. come particella non massiva (Rindler 6.4 e appunti).*
- 40) La carica elettrica come scalare di Lorentz. Le trasformazioni di Lorentz per densità di carica e corrente (appunti). Tetracorrente. Principi di conservazione della carica e equazione di continuità in forma covariante (Ohanian 7.4, 8.1). Quadripotenziale. Problema generale dell'elettrodinamica (Ohanian 8.1).
- 41) Tensore dei campi elettromagnetici. Forza e quadri-forza di Lorentz. Antisimmetria del tensore dei campi. Definizione di campo elettrico e magnetico come componenti del tensore dei campi (Ohanian 8.2).

42) Gauge di Lorenz (Ohanian 8.1). Deduzione delle equazioni di Maxwell e della forza di Lorentz (Ohanian 8.3).

43) Trasformazioni di Lorentz per i campi elettrici e magnetici (Ohanian 8.2). Campo elettrico uniforme per osservatore in moto (Pollack p.466-467). Teorema di trasformazione dei sistemi elettrostatici (Pollack esercizio 12.17). *Perchè gli effetti magnetici sono più piccoli di quelli elettrici* (appunti).

44) 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)

45) Tempo ritardato e potenziali ritardati. Teorema di Riemann-Lienard per i potenziali ritardati. Potenziali di Lienard-Wiechert (senza dim) (G 10.2-10.3).

46) 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).

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

Testi:

G : D. Griffiths, Introduction to electrodynamics, Prentice Hall, 3rd (International) Edition, 1998 (2007). (ovviamente va bene anche la 4 ed.: il numero di capitolo indicato sopra e' però relativo alla 3 ed.)

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

Rindler: W. Rindler, Relativity: Special, General, and Cosmological, Oxford University Press, USA; 2nd edition, 2006.

Ohanian: H. Ohanian, Classical Electrodynamics, Infinity Science Press, 2nd edition, 2007. (NB: questo libro usa il Sistema CGS invece del Sistema Internazionale)

Testi usati saltuariamente:

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.

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.

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

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