

Corrado Mencuccini

Vittorio Silvestrini

FISICA II

ELETTROMAGNETISMO

OTTICA

*Corso di fisica per le facoltà tecnico-scientifiche
corredato di esempi ed esercizi*

INDICE

Prefazione

PARTE PRIMA

I. • Elettrostatica nel vuoto

I.1.	Azioni elettriche	7
I.2.	• Carica elettrica e legge di Coulomb	11
I.3.	Il campo elettrico	13
I.4.	• Campo elettrostatico generato da sistemi di cariche con distribuzione spaziale fissa e nota	15
I.5.	• Teorema di Gauss	21
I.6.	La prima equazione di Maxwell	28
I.7.	Il potenziale elettrico	33
I.8.	Alcune considerazioni sul significato di gradiente	40
I.9.	• Il dipolo elettrico	42
I.10.	Azioni meccaniche su dipoli elettrici in un campo elettrico esterno	45
I.11.	Sviluppo in serie di multipoli	49
I.12.	Rotore di un campo vettoriale. Sviluppi derivanti dalla conservatività del campo elettrostatico	53
	<i>Esercizi del I capitolo</i>	58
	<i>Suggerimenti per la soluzione degli esercizi del I capitolo</i> ..	61

II • Sistemi di conduttori e campo elettrostatico

II.1.	Campo elettrostatico e distribuzioni di carica nei conduttori	63
II.2.	Capacità elettrica	69
II.3.	Sistemi di condensatori	77
II.4.	Energia del campo elettrostatico	80
II.5.	Azioni meccaniche di natura elettrostatica nei conduttori	86
II.6.	Il problema generale dell'elettrostatica nel vuoto	90
II.7.	Alcune proprietà matematiche della equazione di Poisson e delle funzioni armoniche	92
II.8.	Soluzione del problema generale dell'elettrostatica in alcuni casi notevoli	96
II.8.1.	Metodo delle cariche immagini	96
II.8.2.	Equazione di Laplace unidimensionale	99
II.8.3.	Soluzione per separazione di variabili	99
	<i>Esercizi del II capitolo</i>	101
	<i>Suggerimenti per la soluzione degli esercizi del II capitolo</i> ..	103

III. - Elettrostatica in presenza di dielettrici

III.1.	La costante dielettrica	105
III.2.	Interpretazione microscopica	106
III.3.	Il vettore polarizzazione elettrica P (o intensità di polarizzazione)	111
III.4.	Le equazioni dell'elettrostatica in presenza di dielettrici	117
III.5.	Il problema generale dell'elettrostatica in presenza di dielettrici e le condizioni al contorno per i vettori E e D	119
III.6.	Energia elettrostatica in presenza di dielettrici	128
III.7.	Macchine elettrostatiche	131
	<i>Esercizi del III capitolo</i>	132
	<i>Suggerimenti per la soluzione degli esercizi del III capitolo</i>	135

IV. - Corrente elettrica stazionaria

IV.1.	Conduttori	137
IV.2.	Corrente elettrica	138
IV.3.	Densità di corrente ed equazione di continuità	141
IV.4.	Resistenza elettrica e legge di Ohm	145
IV.5.	Fenomeni dissipativi nei conduttori percorsi da corrente	148
IV.6.	Forza elettromotrice e generatori elettrici	149
IV.7.	Alcuni esempi di generatori elettrici	153
IV.8.	Resistenza elettrica di strutture conduttrici ohmiche	156
IV.9.	Circuiti in corrente continua	160
IV.10.	Cariche su conduttori percorsi da corrente	167
IV.11.	Conduzione elettrica nei liquidi	171
IV.12.	Conduzione elettrica nei gas	174
IV.13.	Superconduttori	176
IV.14.	Cenno ad alcuni metodi di misura di correnti, differenze di potenziale e resistenze	176
IV.15.	Circuiti percorsi da corrente quasi stazionaria	179
	<i>Esercizi del IV capitolo</i>	185
	<i>Suggerimenti per la soluzione degli esercizi del IV capitolo</i>	187

V. - Fenomeni magnetici stazionari nel vuoto

V.1.	Forza di Lorentz e vettore induzione magnetica $\vec{B}$	190
V.2.	Azioni meccaniche su circuiti percorsi da corrente stazionaria in un campo magnetico esterno	194
V.3.	Campo $\vec{B}$ generato da correnti stazionarie nel vuoto	201
V.4.	Proprietà del vettore induzione magnetica $\vec{B}$ nel caso stazionario	206
V.5.	Potenziali magnetostatici	212
V.5.1.	Potenziale scalare	212
V.5.2.	Potenziale vettore	216
V.6.	Interazioni fra circuiti percorsi da corrente stazionaria	220
V.7.	Trasformazioni relativistiche del campo elettrostatico e del campo magnetostatico	221
	<i>Esercizi del V capitolo</i>	226
	<i>Suggerimenti per la soluzione degli esercizi del V capitolo</i>	229

VI - Magnetismo nella materia

VI.1.	Considerazioni introduttive generali	231
VI.2.	Generalità sugli aspetti atomici del magnetismo	233
VI.3.	Polarizzazione magnetica e sue relazioni con le correnti microscopiche	236
VI.4.	Le equazioni fondamentali della magnetostatica in presenza di materia e le condizioni di raccordo per $\vec{B}$ ed $\vec{H}$..	240
VI.5.	Proprietà macroscopiche dei materiali dia-, para- e ferromagnetici	247
VI.5.1.	Sostanze diamagnetiche	247
VI.5.2.	Sostanze paramagnetiche	248
VI.5.3.	Sostanze ferromagnetiche	249
VI.6.	Interpretazione microscopica dei fenomeni di magnetizzazione della materia	252
VI.6.1.	Relazione fra campo microscopico locale e campi macroscopici	252
VI.6.2.	Precessione di Larmor	254
VI.6.3.	Polarizzazione per orientamento e funzione di Langevin ..	256
VI.6.4.	Interpretazione microscopica del diamagnetismo	257
VI.6.5.	Interpretazione microscopica del paramagnetismo	258
VI.6.6.	Interpretazione microscopica del ferromagnetismo	258
VI.7.	Circuiti magnetici, elettromagneti e magneti permanenti	260
VI.7.1.	Circuiti magnetici. Definizioni e approssimazioni	261
VI.7.2.	Elettromagneti	266
VI.7.3.	Magnet permanenti	268
	Esercizi del VI capitolo	271
	Suggerimenti per la soluzione degli esercizi del VI capitolo	272

VII. - Campi elettrici e magnetici variabili nel tempo.
Terza e quarta equazione di Maxwell

VII.1.	Induzione elettromagnetica. La legge di Faraday-Neumann	275
VII.2.	Interpretazione fisica del fenomeno dell'induzione elettromagnetica	277
VII.2.1.	Flusso tagliato: configurazione del circuito che varia in un campo di induzione magnetica $\vec{B}$ costante nel tempo	277
VII.2.2.	Variazione del flusso concatenato dovuta al moto delle sorgenti del campo $\vec{B}$	279
VII.2.3.	Variazione del flusso concatenato dovuta a variazione della corrente di alimentazione del circuito sorgente	281
VII.3.	Forma locale della legge di Faraday-Neumann ed espressione della terza equazione di Maxwell nel caso non stazionario	281
VII.4.	La quarta equazione di Maxwell nel caso non stazionario	283
VII.5.	Il fenomeno dell'autoinduzione e coefficiente di autoinduzione	288
VII.6.	Induzione mutua	293
VII.7.	Analisi energetica di un circuito RL	296
VII.8.	Energia magnetica ed azioni meccaniche	302
VII.8.1.	Richiamo ad energia elettrica ed azioni meccaniche	302
VII.8.2.	Energia magnetica nel caso di circuiti accoppiati	305

VII.8.3.	<i>Energia magnetica e forze su circuiti</i>	308
VII.9.	<i>Espressioni generali di tipo locale per l'energia magnetica</i>	311
VII.10.	<i>Elettrogeneratori e motori elettrici</i>	316
	<i>Esercizi del VII capitolo</i>	320
	<i>Suggerimenti per la soluzione degli esercizi del VII capitolo</i>	323

VIII. Correnti alternate

VIII.1.	<i>Considerazioni introduttive</i>	325
VIII.2.	<i>Generalità sulle equazioni differenziali lineari del secondo ordine</i>	327
VIII.3.	<i>Grandezze alternate</i>	331
VIII.4.	<i>Sviluppo in serie di Fourier delle grandezze periodiche</i>	336
VIII.5.	<i>Il metodo simbolico</i>	339
VIII.6.	<i>Il fenomeno della risonanza</i>	345
VIII.7.	<i>Potenza assorbita dai circuiti in corrente alternata</i>	347
VIII.8.	<i>Trasformatore statico</i>	348
VIII.9.	<i>Strumenti di misura delle grandezze elettriche alternate</i>	352
	<i>Esercizi dell'VIII capitolo</i>	355
	<i>Suggerimenti per la soluzione degli esercizi dell'VIII capitolo</i>	356

IX. Onde elettromagnetiche

IX.1.	<i>Considerazioni introduttive</i>	357
IX.2.	<i>Alcuni approfondimenti relativi alle equazioni di Maxwell</i>	359
IX.3.	<i>Equazione delle onde elettromagnetiche</i>	363
IX.4.	<i>Onde elettromagnetiche piane</i>	367
IX.5.	<i>Onde sferiche</i>	373
IX.6.	<i>Onde elettromagnetiche nei dielettrici. Dipendenza dell'indice di rifrazione dalla frequenza dell'onda</i>	375
IX.7.	<i>Onde elettromagnetiche nei conduttori</i>	378
IX.8.	<i>Spettro delle onde elettromagnetiche</i>	380
IX.9.	<i>Conservazione dell'energia e vettore di Poynting</i>	383
IX.10.	<i>Quantità di moto di un'onda elettromagnetica. Pressione di radiazione</i>	387
IX.11.	<i>Densità di quantità di moto del campo elettromagnetico e tensore degli sforzi di Maxwell</i>	390
IX.12.	<i>Potenziali del campo elettromagnetico (potenziali elettrodinamici)</i>	393
IX.13.	<i>Covarianza relativistica dell'elettrodinamica</i>	397
IX.14.	<i>Trasformazioni di Gauge</i>	400
IX.15.	<i>Radiazione emessa da un dipolo oscillante e da una carica in moto accelerato</i>	401
IX.16.	<i>Effetto Doppler</i>	405

X. Fenomeni classici di interazione fra radiazione e materia

X.1.	Condizione di raccordo per i campi al passaggio da un mezzo materiale a un altro	408
X.2.	Riflessione e rifrazione delle onde elettromagnetiche ...	410
X.2.1.	<i>Caratteristiche cinematiche dell'onda riflessa e dell'onda rifratta. Legge di Snell</i>	411
X.2.2.	<i>Caratteristiche dinamiche della riflessione e della rifrazione. Relazioni di Fresnel</i>	415
X.3.	Dispersione della luce. Analisi spettrale e misura dell'indice di rifrazione	419
X.4.	Riflessione su superfici metalliche lucide	422
X.5.	Luce naturale e radiazione polarizzata	424
X.6.	Velocità di gruppo	428
X.7.	Principio di Huygens-Fresnel e teorema di Kirchhoff ...	432
X.8.	Interferenza	433
X.9.	Olografia	439
X.10.	Diffrazione ...	440
* X.10.1.	<i>Diffrazione di Fraunhofer da fenditura rettilinea singola</i> ..	422
X.10.2.	<i>Diffrazione di Fraunhofer da un foro circolare</i>	444
X.10.3.	<i>Interferenza e diffrazione da doppia fenditura</i>	445
X.10.4.	<i>Reticolo di diffrazione</i>	445
X.11.	Guide di luce e fibre ottiche	448
X.12.	Cavi coassiali	451
X.13.	Guide d'onda	455
	<i>Esercizi del X capitolo</i>	458
	<i>Suggerimenti per la soluzione degli esercizi del X capitolo</i> ..	461

XI. Ottica geometrica

XI.1.	Approssimazione dell'ottica geometrica. Raggi luminosi ..	463
XI.2.	Definizioni generali	465
XI.3.	Riflessione: specchi	467
XI.4.	Rifrazione: diottri	471
XI.5.	Sistemi diottrici centrati	477
XI.6.	Lenti	481
XI.6.1.	<i>Lente spessa</i>	481
XI.6.2.	<i>Lente sottile</i>	482
XI.7.	Proprietà di alcuni dispositivi ottici	486
XI.7.1.	<i>Proprietà energetiche delle immagini. Diaframmi</i>	486
XI.7.2.	<i>Cenno ad alcuni dispositivi ottici di uso comune</i>	488
XI.8.	L'occhio umano	492
	<i>Esercizi dell'XI capitolo</i>	494
	<i>Suggerimenti per la soluzione degli esercizi dell'XI capitolo</i> ..	495

XII. Fotoni e materia

XII.1.	Teoria classica della radiazione di corpo nero	498
XII.2.	Legge di Planck per lo spettro di corpo nero	502
XII.3.	Effetto fotoelettrico	506

XII.4.	Effetto Compton	509
XII.5.	Creazione di coppie, Bremsstrahlung e sezione d'urto totale di interazione radiazione-materia	512
XII.6.	L'atomo di Bohr	516
XII.7.	Dualismo particella-onda. Introduzione ai concetti della meccanica quantistica	521
XII.7.1.	Funzione d'onda	522
XII.7.2.	Principio di indeterminazione	524
XII.7.3.	L'equazione di Schrödinger	525
XII.8.	Il laser	527
XII.9.	Conduzione nei solidi	531
XII.9.1.	Elettroni negli atomi	531
XII.9.2.	Elettroni nei solidi	533
XII.9.3.	Semiconduttori	536

Soluzione degli esercizi	546
---------------------------------------	------------

Appendice A - Alcuni utili strumenti matematici

PARTE PRIMA

A.I.	Applicazioni di un Metodo Grafico basato sulla trasformata generalizzata di Fourier delle funzioni armoniche	627
A.I.1.	Trasformata del seno e del coseno	627
A.I.2.	Operazioni con le delta	628
A.I.3.	Applicazione del metodo delle delta al calcolo di identità trigonometriche	630
A.I.4.	Applicazione alla risoluzione di equazioni trigonometriche	632
A.I.5.	Applicazione alla risoluzione di integrali trigonometrici	633
A.I.6.	La funzione Γ	634
A.I.7.	I Fasori	634
A.I.8.	Interferenza in campo lontano di N sorgenti puntiformi	635
A.I.9.	Diffrazione di Fraunhofer da singola fenditura lineare	637
A.I.10.	Interferenza e diffrazione da doppia fenditura lineare	637
A.I.11.	Reticolo di diffrazione	638
A.I.12.	Diffrazione da figure bidimensionali	639

PARTE SECONDA

A.II.	Alcune brevi considerazioni di algebra ed analisi vettoriale	639
	<i>Indice analitico</i>	655