

**LIONEL LOVITCH**

Professore di Fisica Nucleare  
Dipartimento di Fisica - Università di Ferrara

**SERGIO ROSATI**

Professore di Istituzioni di Fisica Nucleare e Subnucleare  
Dipartimento di Fisica - Università di Pisa

# FISICA GENERALE

ELETTRICITÀ  
MAGNETISMO  
ELETTROMAGNETISMO  
RELATIVITÀ RISTRETTA  
OTTICA  
MECCANICA QUANTISTICA

3ª EDIZIONE



CASA EDITRICE AMBROSIANA  
MILANO

# Indice

<b>1</b>	<b>Fenomeni fondamentali dell'elettrostatica</b>	<b>1</b>
1-1	Introduzione	1
1-2	Alcuni fatti sperimentali	1
1-3	Legge di Coulomb	4
1-4	Campo elettrico	6
1-5	Potenziale elettrostatico	11
1-6	Campo di dipolo elettrico	15
1-7	Dipolo elettrico in campo elettrico esterno	17
1-8	Carica dell'elettrone. Quantizzazione della carica elettrica	18
1-9	Quesiti e problemi	19
1-10	Problemi con risposta	20
<b>2</b>	<b>Struttura atomica della materia</b>	<b>23</b>
2-1	Corpi reali e loro divisibilità	23
2-2	Struttura dell'atomo	24
2-3	Struttura cristallina. Conduttori e isolanti	27
<b>3</b>	<b>Corrente elettrica nei conduttori metallici</b>	<b>31</b>
3-1	Forza elettromotrice	31
3-2	Corrente elettrica	32
3-3	Legge di Ohm	35
3-4	Effetto Joule	41
3-5	Resistenze in serie e in parallelo. Estensione della legge di Ohm	42
3-6	Leggi di Kirchhoff	44
3-7	Applicazioni delle leggi di Kirchhoff	47
3-8	Teoremi delle reti lineari	50
3-9	Quesiti e problemi	54
3-10	Problemi con risposta	55
<b>4</b>	<b>Proprietà dei conduttori metallici</b>	<b>59</b>
4-1	Struttura dei conduttori metallici	59
4-2	Lavoro di estrazione	60
4-3	Effetto Volta	63

4-4	Effetto Seebeck	66
4-5	Effetto Peltier	68
4-6	Effetto Thomson	68
<b>5</b>	<b>Conduttori elettrolitici</b>	<b>71</b>
5-1	Dissociazione elettrolitica	71
5-2	Meccanismo della conduzione elettrolitica	74
5-3	Leggi di Faraday per l'elettrolisi	76
5-4	Pila di Volta	79
5-5	Pile primarie e pile secondarie. L'accumulatore	81
5-6	Applicazioni dell'elettrolisi	82
5-7	Problemi con risposta	83
<b>6</b>	<b>L'elettrostatica e i conduttori</b>	<b>85</b>
6-1	Teorema di Gauss	85
6-2	Alcune applicazioni del teorema di Gauss	87
6-3	Cariche su conduttori metallici	89
6-4	La Terra come potenziale zero	91
6-5	Schermo elettrostatico	92
6-6	Uso dell'elettroscopio basato sull'induzione elettrostatica	93
6-7	Capacità di un conduttore	94
6-8	Condensatore	96
6-9	Batterie di condensatori	97
6-10	Energia di un condensatore carico	98
6-11	Forze tra le armature di un condensatore	100
6-12	Coefficienti di capacità per un sistema di conduttori	101
6-13	Elettrometro condensatore	103
6-14	Il problema generale dell'elettrostatica	104
6-15	Metodo delle cariche immagini	106
6-16	Soluzione dell'equazione di Laplace per separazione di variabili	108
6-17	Quesiti e problemi	110
6-18	Problemi con risposta	112
<b>7</b>	<b>Campo magnetico nel vuoto</b>	<b>115</b>
7-1	Alcuni fatti sperimentali	115
7-2	Induzione magnetica $\mathbf{B}$ . Seconda legge di Laplace	118
7-3	Prima legge di Laplace	121
7-4	Alcune applicazioni della prima legge di Laplace	123
7-5	Divergenza del campo vettoriale $\mathbf{B}$	127
7-6	Forze elettrodinamiche	128
7-7	Moto di una particella carica in campo elettromagnetico	130
7-8	Teorema di Ampère	134
7-9	Quesiti e problemi	136
7-10	Problemi con risposta	139
<b>8</b>	<b>Induzione elettromagnetica</b>	<b>141</b>
8-1	Leggi dell'induzione elettromagnetica	141
8-2	Correnti di Foucault	144
8-3	Rocchetto di Ruhmkorff	147
8-4	Legge di Faraday per un circuito mobile	147
8-5	Induzione elettromagnetica e relativa equazione di Maxwell	149

8-6	Alternatori	150
8-7	Autoinduzione	152
8-8	Regime transitorio in un circuito induttivo	153
8-9	Mutua induzione	155
8-10	Induttanze in serie e in parallelo	157
8-11	Quesiti e problemi	158
8-12	Problemi con risposta	160
<b>9</b>	<b>Correnti alternate</b>	<b>163</b>
9-1	Introduzione	163
9-2	Oscillazioni forzate in circuito RCL in serie	165
9-3	Oscillazioni smorzate in circuito RCL in serie	170
9-4	Risonanza	171
9-5	Trasformatore	173
9-6	Uso dei vettori e dei numeri complessi per lo studio dei circuiti in c.a.	175
9-7	Misurazioni elettriche in corrente alternata	179
9-8	Effetto pelle	181
9-9	Quesiti e problemi	182
9-10	Problemi con risposta	182
<b>10</b>	<b>Campo elettrico nei dielettrici</b>	<b>187</b>
10-1	Polarizzazione molecolare	187
10-2	Polarizzazione di un dielettrico	188
10-3	Campo elettrico in presenza di dielettrici	191
10-4	Suscettività elettrica e costante dielettrica di un dielettrico	192
10-5	Polarizzabilità molecolare e agitazione termica	195
	10-5-1 Sostanze non polari	195
	10-5-2 Sostanze polari	196
10-6	Campo magnetico in presenza di dielettrici	196
10-7	Rigidità dielettrica ed effetto delle punte	197
10-8	Energia del campo elettrostatico	197
10-9	Quesiti e problemi	198
10-10	Problemi con risposta	200
<b>11</b>	<b>Proprietà magnetiche della materia</b>	<b>203</b>
11-1	Momenti magnetici atomici e molecolari	203
11-2	Effetti di un campo magnetico su sostanze diverse	205
11-3	Polarizzazione magnetica	208
11-4	Intensità di magnetizzazione e corrente di magnetizzazione	211
11-5	Intensità del campo magnetico <b>H</b>	213
11-6	Permeabilità e suscettività magnetica	215
11-7	Ferromagnetismo	218
11-8	Isteresi magnetica	222
11-9	Antiferromagnetismo e ferrimagnetismo	226
11-10	Circuiti magnetici	227
11-11	Energia del campo magnetico	231
11-12	Energia e forze per un sistema di circuiti	233
11-13	Quesiti e problemi	237
11-14	Problemi con risposta	240

<b>12</b>	<b>Equazioni di Maxwell e onde elettromagnetiche</b>	<b>243</b>
12-1	Equazioni di Maxwell	243
12-2	Corrente di spostamento	245
12-3	Onde elettromagnetiche piane nel vuoto	246
12-4	Onde elettromagnetiche piane in mezzi materiali	250
	12-4-1 Onde elettromagnetiche in un dielettrico	250
	12-4-2 Onde elettromagnetiche in un conduttore	251
12-5	Onde elettromagnetiche sferiche nel vuoto	253
12-6	Il vettore di Poynting	254
12-7	Energia, quantità di moto e momento angolare di un'onda elettromagnetica	256
12-8	Cenni sulla produzione e la ricezione di onde elettromagnetiche	259
12-9	Irraggiamento da un dipolo elettrico oscillante	260
12-10	Energia irradiata da una carica in movimento	264
12-11	Quesiti e problemi	264
12-12	Problemi con risposta	266
<b>13</b>	<b>Elettrodinamica nel vuoto</b>	<b>269</b>
13-1	Potenziali ritardati	269
13-2	Potenziali vettori di Hertz	273
13-3	Dipolo elettrico oscillante	274
	13-3-1 Potenziali ritardati	274
	13-3-2 Potenziali di Hertz	276
13-4	Potenziali di Liénard e Wiechert per una carica puntiforme	277
13-5	Campo generato da una carica in moto rettilineo uniforme	279
13-6	Campo generato da una carica in moto accelerato	281
13-7	Irraggiamento da una carica in moto lento accelerato	284
13-8	Legge della forza tra due cariche elettriche in moto	285
13-9	Quesiti e problemi	288
13-10	Problemi con risposta	289
<b>14</b>	<b>Elettromagnetismo e relatività ristretta</b>	<b>291</b>
14-1	Introduzione	291
14-2	Trasformazione di Lorentz	293
14-3	Conseguenze della trasformazione di Lorentz	295
14-4	Trasformazione delle velocità	297
14-5	Dinamica Relativistica	299
14-6	Quadrivettori	305
14-7	Quadritensori	310
14-8	Equazioni elettromagnetiche in forma covariante	311
14-9	Tensori del campo elettromagnetico	313
14-10	Campo generato da una carica in moto rettilineo uniforme	315
14-11	Quesiti e problemi	318
14-12	Problemi con risposta	320
<b>15</b>	<b>Natura, produzione e ricezione della luce</b>	<b>321</b>
15-1	Natura della luce	321
15-2	Velocità della luce	324
15-3	Sorgenti di radiazione	326
15-4	Grandezze radiometriche	330
15-5	Grandezze fotometriche	332
15-6	Cenni di fotometria	334

15-7	Rivelatori di luce; il colore	336
15-8	Quesiti e problemi	339
15-9	Problemi con risposta	339
<b>16</b>	<b>Propagazione della luce in mezzi isotropi</b>	<b>341</b>
16-1	Velocità della luce in mezzi isotropi	341
16-2	Riflessione della luce su una superficie piana	342
16-3	Leggi della rifrazione della luce	343
16-4	Ottica geometrica. Riflessione e rifrazione	344
16-5	Riflessione totale	346
16-6	Lamina a facce piane e parallele	348
16-7	Dispersione della luce	349
16-8	Principio di Fermat	352
16-9	Quesiti e problemi	354
16-10	Problemi con risposta	355
<b>17</b>	<b>Formazione delle immagini</b>	<b>357</b>
17-1	Sistemi ottici	357
17-2	Riflessione da specchio piano	357
17-3	Riflessione da specchio sferico	358
17-4	Ottica al prim'ordine. Sistema ottico centrato	362
17-5	Costruzione delle immagini	363
17-6	Diottro sferico	364
17-7	Punti focali e punti principali di una lente semplice	366
17-8	Aberrazioni	369
17-9	Quesiti e problemi	372
17-10	Problemi con risposta	373
<b>18</b>	<b>Interferenza della luce</b>	<b>377</b>
18-1	Introduzione	377
18-2	Fasci di luce coerente e non coerente	378
18-3	Principio di Huygens	378
18-4	Interferenza tra onde prodotte da due sorgenti	380
18-5	L'esperimento di Young	382
18-6	Alcuni semplici dispositivi per produrre interferenza	384
18-7	Interferenza in lamine sottili. Anelli di Newton	386
18-8	Interferometri	389
18-9	Quesiti e problemi	391
18-10	Problemi con risposta	392
<b>19</b>	<b>Diffrazione</b>	<b>395</b>
19-1	Aspetti qualitativi della diffrazione	395
19-2	Diffrazione di Fraunhofer da una fenditura rettilinea	396
19-3	Diffrazione di Fraunhofer da un'apertura circolare	399
19-4	Diffrazione di Fraunhofer da una doppia fenditura	401
19-5	Reticolo di diffrazione	403
19-6	Potere risolutivo	406
19-7	Diffrazione di Fresnel	409
19-8	Diffrazione di Fresnel da apertura circolare	411
19-9	Diffrazione di Fresnel da ostacolo circolare	413
19-10	Lamina di zona	413

19-11	Diffrazione di Fresnel da ostacoli con spigoli rettilinei	414
19-12	Olografia	418
19-13	Quesiti e problemi	422
19-14	Problemi con risposta	423
<b>20</b>	<b>Polarizzazione</b>	<b>425</b>
20-1	Trasversalità delle onde luce	425
20-2	Luce polarizzata	426
20-3	Polarizzazione per riflessione e per trasmissione	430
20-4	Polarizzazione per diffusione	433
20-5	Polarizzazione per dicroismo	433
20-6	Polarizzazione per birifrangenza	434
20-7	Compensatori. Lamina a quarto-d'onda	438
20-8	Attività ottica	440
20-9	Birifrangenza artificiale	441
20-10	Quesiti e problemi	443
20-11	Problemi con risposta	445
<b>21</b>	<b>Particelle e onde</b>	<b>447</b>
21-1	Introduzione	447
21-2	Inadeguatezza della fisica classica	448
21-2-1	Radiazione di corpo nero	448
21-2-2	Effetto fotoelettrico	450
21-2-3	Calore specifico dei solidi	451
21-2-4	Atomo nucleare di Rutherford	452
21-2-5	Righe spettrali atomiche e livelli energetici discreti	454
21-2-6	Teoria di Bohr per l'atomo di idrogeno	456
21-2-7	Quantizzazione del momento angolare	458
21-2-8	Effetto Compton	459
21-3	Dualismo onda-corpuscolo. Lunghezza d'onda di de Broglie	461
21-4	Diffrazione di elettroni	462
21-5	Onde e particelle	465
21-6	Principio di indeterminazione	466
21-7	Quesiti e problemi	468
<b>22</b>	<b>Elementi di meccanica quantistica</b>	<b>471</b>
22-1	Funzione d'onda	471
22-2	Equazione di Schrödinger	473
22-3	Soluzioni stazionarie dell'equazione di Schrödinger	475
22-4	Calcolo dei valori medi	476
22-5	Moto traslatorio	478
22-5-1	Particella in una scatola unidimensionale	478
22-5-2	Particella in una scatola tridimensionale	480
22-5-3	Barriera rettangolare di potenziale	481
22-6	Moto vibrazionale	483
22-7	Moto in campo di forze centrali	485
22-8	Atomo di idrogeno	486
22-9	Operatori	489
22-10	Autovalori e autostati	491
22-11	Moto rotatorio	493
22-11-1	Operatore di momento angolare	494

22-11-2 Autostati del momento angolare	495
22-11-3 Lo spin dell'elettrone	496
22-12 Quesiti e problemi	496
<b>Appendici</b>	<b>499</b>
<b>A Campi scalari e vettoriali</b>	<b>501</b>
A-1 Definizioni	501
A-2 Gradiente, divergenza, rotazione	501
A-3 Calcolo di integrali in un campo vettoriale	503
A-4 Teorema della divergenza	504
A-5 Teorema di Stokes	505
<b>B Funzione delta di Dirac</b>	<b>509</b>
<b>C Funzioni ortogonali</b>	<b>511</b>
C-1 Sviluppo in una base di funzioni ortogonali	511
C-2 Sviluppo in serie di Fourier	512
C-3 Integrale di Fourier	514
<b>D Effetto delle punte</b>	<b>517</b>
<b>E Macchine elettrostatiche</b>	<b>519</b>
<b>F Misurazioni elettrostatiche di differenze di potenziale</b>	<b>523</b>
<b>G Termoelettronica</b>	<b>527</b>
G-1 Effetto termoionico	527
G-2 Diode	528
G-3 Triode	529
<b>H Semiconduttori</b>	<b>533</b>
H-1 Conduzione di corrente nei semiconduttori	533
H-2 Semiconduttori drogati	534
H-3 Giunzione $p-n$ e diode	535
H-4 Transistor	538
H-4-1 Transistor bipolare a giunzione (BJT)	538
H-4-2 Transistor a effetto di campo (FET)	544
<b>I Cenni sulla conduzione elettrica nei gas</b>	<b>551</b>
I-1 Produzione di elettroni e ioni in un gas	551
I-2 Conduzione nei gas	553
I-3 Raggi catodici	556
I-4 Raggi X	557
I-5 Raggi positivi o raggi canale	558
I-6 Alcune applicazioni della scarica in un gas	559
<b>J Cenni sulle più importanti pile elettrolitiche</b>	<b>561</b>
<b>K Teorema di Ampère e corrispondente equazione di Maxwell</b>	<b>565</b>

<b>L Galvanometri, amperometri e voltmetri</b>	<b>569</b>
L-1 Galvanometri per correnti continue	569
L-2 Smorzamento del galvanometro	572
L-3 Galvanometro balistico. Misura di cariche elettriche	574
L-4 Metodo dello shunt	575
L-5 Voltmetro	575
L-6 Cenni sugli amperometri e voltmetri per correnti alternate	576
<b>M Oscillografo a raggi catodici</b>	<b>577</b>
M-1 Oscillografo	577
M-2 Tubo a raggi catodici (CRT)	578
M-3 Circuiti ausiliari del CRO	580
M-4 Misure con il CRO	581
<b>N Generatori e motori</b>	<b>583</b>
N-1 Generatori	583
N-2 Motori	588
<b>O Cenni sui diversi sistemi di unità di misura</b>	<b>595</b>
O-1 Sistema internazionale	595
O-2 Sistema CGS elettrostatico	596
O-3 Sistema CGS elettromagnetico	596
O-4 Sistema di Gauss	597
<b>P Il laser</b>	<b>599</b>
P-1 Introduzione	599
P-2 Schema di Einstein	599
P-3 Amplificatori di luce	600
P-4 Metodi per generare inversione di popolazione	602
P-5 Alcuni esempi di laser	602
<b>Q Strumenti ottici</b>	<b>605</b>
Q-1 Macchina fotografica	605
Q-2 Apparecchio di proiezione	606
Q-3 L'occhio	606
Q-4 Lente di ingrandimento	608
Q-5 Microscopio	609
Q-6 Cannocchiale (telescopio)	611
<b>R Onde elettromagnetiche piane in mezzi dielettrici anisotropi</b>	<b>613</b>
<b>Risposte ai problemi</b>	<b>621</b>
<b>Indice analitico</b>	<b>633</b>