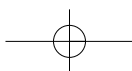
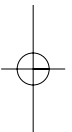
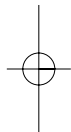


# **ELEMENTI DI FISICA**

**Per i Corsi di Laurea in Scienze Biologiche,  
Scienze Biotecnologiche, Scienze Naturali, Scienze Ambientali,  
Scienze Geologiche, Beni Culturali, Scienze Agrarie,  
Informatica ed altri Corsi di Laurea Triennali**



**Dello stesso Editore:**

- ADAMO/COMOGLIO ET AL. – Istologia per i corsi di laurea in professioni sanitarie
- ARIENTI – Le basi molecolari della nutrizione
- ATKINSON – Introduzione alla psicologia
- AYALA/LISI/MONFRECOLA – Dermatologia
- BELLINI/MANUZIO – Fisica per le scienze della vita
- BERNABEO/PONTIERI/SCARANO – Storia della medicina
- BROOKS/JAWETZ/MELNICK/ADELBERG – Microbiologia medica
- BUCCIANTE – Anatomia umana
- CARDONE/BALBI/COLACURCI – Ostetricia e ginecologia
- CARLSON – Fisiologia del comportamento
- CARLSON ET AL. – Psicologia
- CASTELLO – Manuale di pediatria
- CHIARUGI/BUCCIANTE – Istituzioni di anatomia dell'uomo
- CINTI – Quiz a scelta multipla di anatomia umana normale
- COLTON – Statistica in medicina
- COOPER/HAUSMAN – La cellula: un approccio molecolare
- CREPALDI – Trattato di medicina interna
- CUNNINGHAM – Trattato di anatomia umana
- D'AMICO – Chirurgia generale
- DE VINCENTIIS/GALLO – Otorinolaringoiatria
- Dizionario medico enciclopedico
- ESPOSITO/PAPA/PASSIATORE/DE LUCA/MEZZOGIORNO – Anatomia umana
- FANTONI/BOZZARO/DEL SAL/FERRARI/TRIPODI – Biologia cellulare e genetica
- FEGIZ/MARRANO/RUBERTI – Manuale di chirurgia generale
- FOGARI – Semeiotica medica
- FOYE – Principi di chimica farmaceutica
- FRADÀ – Semeiotica medica nell'adulto e nell'anziano
- FUMAGALLI/CAVALLOTTI – Anatomia umana normale
- FURLANUT – Farmacologia: principi e applicazioni
- GANONG – Fisiologia medica
- GARRETT – Principi di biochimica
- GIBERTI/ROSSI – Manuale di psichiatria
- GILMAN/NEWMAN – Neuroanatomia clinica e neurofisiologia
- GIUDICE/AUGUSTI-TOCCO/CAMPANELLA ET AL. – Biologia dello sviluppo
- GOGLIA – Anatomia e fisiologia
- GOMBOS/SERPICO – Clinica odontoiatrica e stomatologica
- GREENSPAN – Endocrinologia clinica
- IMBACIATI/MARGIOTTA – Compendio di psicologia
- JANEWAY – Immunobiologia
- JUNQUEIRA – Compendio di istologia
- KATZUNG – Farmacologia generale e clinica
- KISNER/COLBY – L'esercizio terapeutico
- LANG/WACHSMUTH – Anatomia pratica: arto inferiore
- LANG/WACHSMUTH – Anatomia pratica: arto superiore
- LEGER – Semeiotica chirurgica
- LISE – Chirurgia per infermieri
- MANCINI/MORLACCHI – Clinica ortopedica
- MARCHETTI/PILLASTRINI – Neurofisiologia del movimento
- MARIUZZI – Anatomia e istologia patologica
- MASTERTON/HURLEY – Chimica: principi e reazioni
- MAZZEO – Trattato di clinica e terapia chirurgica
- MEZZOGIORNO/MEZZOGIORNO – Compendio di anatomia umana
- MIDRIO – Compendio di fisiologia umana
- MITA/FEROCCI – Fisica biomedica
- MONESI – Istologia
- MOTTA – Anatomia microscopica
- MUNARI – Anatomia topografica
- NORELLI/BUCCELLI/FINESCHI – Medicina legale e delle assicurazioni
- PIER – Immunologia, infezione, immunità
- PONTIERI – Patologia e fisiopatologia generale per le lauree triennali
- PONTIERI – Patologia generale
- RHOADES/PFLANZER – Fisiologia generale e umana
- RIZZOLI ET AL. – Guida illustrata all'istologia
- ROHEN/YOKOCHI/LÜTJEN-DRECOLL – Atlante a colori di anatomia umana descrittiva e topografica
- SBORGIA/DELLE NOCI – Malattie dell'apparato visivo
- SILIPRANDI/TETTAMANTI – Biochimica medica
- SPALTEHOLZ/SPANNER – Atlante di anatomia umana
- STERNBERG – Psicologia cognitiva
- TRAPANI/WARDLE – La nuova grammatica inglese
- TREVOR/KATZUNG – Farmacologia: quesiti a scelta multipla e compendio della materia
- VALLETTA/MATARASSO/MIGNOGNA – Malattie odontostomatologiche
- VIGUÉ/MARTÍN – Grande atlante di anatomia umana descrittiva e funzionale
- WAXMAN – Neuroanatomia clinica
- ZIEGLER – Nutrizione
- ZIPARO – Fisiologia del sistema gastroenterico

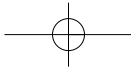
**F. BERSANI, S. BETTATI, P.F. BIAGI, V. CAPOZZI,  
L. FEROCI, M. LEPORE, D.G. MITA, I. ORTALLI,  
G. ROBERTI, P. VIGLINO, A. VITTURI**

# **ELEMENTI DI FISICA**

**Per i Corsi di Laurea in Scienze Biologiche,  
Scienze Biotecnologiche, Scienze Naturali, Scienze Ambientali,  
Scienze Geologiche, Beni Culturali, Scienze Agrarie,  
Informatica ed altri Corsi di Laurea Triennali**

**Coordinato da  
P.F. BIAGI – D.G. MITA – L. FEROCI**

**PICCIN**



Tutti i diritti sono riservati

È VIETATA PER LEGGE LA RIPRODUZIONE IN FOTOCOPIA  
E IN QUALSIASI ALTRA FORMA

È vietato riprodurre, archiviare in un sistema di riproduzione o trasmettere sotto qualsiasi forma o con qualsiasi mezzo elettronico, meccanico, per fotocopia, registrazione o altro, qualsiasi parte di questa pubblicazione senza autorizzazione scritta dell'Editore.  
Ogni violazione sarà perseguita secondo le leggi civili e penali.

ISBN: 978-88-299-2025-9

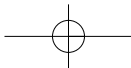
*In copertina:* Quando la pattinatrice, per azione di forze interne (forze muscolari) richiama al petto gli arti superiori, avvicinandoli quindi all'asse di rotazione, il momento d'inerzia diminuisce e, conseguentemente, la velocità angolare aumenta.

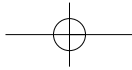
Stampato in Italia

---

Copyright © 2010, by Piccin Nuova Libreria S.p.A., Padova

[www.piccin.it](http://www.piccin.it)





## AUTORI

### **Ferdinando Bersani**

Professore Associato  
Dipartimento di Fisica  
Università degli Studi di Bologna

### **Stefano Bettati**

Professore Straordinario  
Dipartimento di Biochimica e  
Biologia Molecolare  
Università degli Studi di Parma

### **Pier Francesco Biagi**

Professore Ordinario  
Dipartimento Interateneo di Fisica  
“Michelangelo Merlin”  
Università degli Studi di Bari

### **Vito Capozzi**

Professore Ordinario  
Dipartimento di Scienze Biomediche  
Facoltà di Medicina e Chirurgia  
Università degli Studi di Foggia

### **Luciano Feroci**

già Professore Associato  
Libero Docente di Fisiologia Umana  
Dipartimento di Medicina Sperimentale  
Università degli Studi di Roma  
“La Sapienza”

### **Maria Lepore**

Professore Associato  
Dipartimento di Medicina Sperimentale  
Seconda Università degli Studi di Napoli

### **Damiano Gustavo Mita**

Professore Ordinario  
Dipartimento di Medicina Sperimentale  
Seconda Università degli Studi di Napoli

### **Ida Ortalli**

Professore Ordinario  
Dipartimento di Sanità Pubblica  
Sezione di Fisica  
Università degli Studi di Parma

### **Giuseppe Roberti**

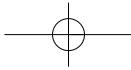
Professore Ordinario  
Dipartimento di Scienze Fisiche  
Università degli Studi di Napoli  
“Federico II”

### **Paolo Viglino**

Professore Ordinario  
Dipartimento di Scienze e  
Tecnologie Biomediche  
Università degli Studi di Udine

### **Andrea Vitturi**

Professore Ordinario  
Dipartimento di Fisica “Galileo Galilei”  
Università degli Studi di Padova



## PREFAZIONE

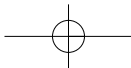
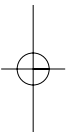
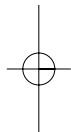
Questo sintetico volume di **Elementi di Fisica** è diretto agli studenti dei Corsi di Laurea in Scienze Biologiche, Scienze Biotecnologiche, Scienze Naturali, Scienze Ambientali, Scienze Geologiche, Beni Culturali, Scienze Agrarie, Informatica ed altri Corsi di Laurea Triennali, nei quali il corso della materia si prefigge non solo di fornire le conoscenze fondamentali della stessa, ma soprattutto di stimolare la criticità e la logica degli studenti. Per questo gli Autori si sono soffermati più sulla parte concettuale che su una trattazione ampia e rigorosa, usando un linguaggio facilmente comprensibile e un semplice formalismo matematico, riducendo al minimo l'uso di derivate e di integrali, corredando inoltre il testo di immagini appropriate e dimostrative.

Dopo un capitolo iniziale che richiama semplici nozioni di matematica, essenziali per la lettura dei successivi capitoli, vengono descritte le principali leggi della fisica classica che sono irrinunciabili ed essenziali per la comprensione di qualsiasi fenomeno reale del mondo che ci circonda.

Ogni capitolo è corredato da esercizi risolti con lo scopo di fornire allo studente una guida per l'applicazione delle varie leggi fisiche.

Il libro è stato opportunamente ricavato da un testo più vasto e completo di Fisica Biomedica destinato prevalentemente agli studenti di Medicina, per i quali il programma della materia è molto più vasto.

*Gli Autori*





## INDICE GENERALE

### Capitolo 1

#### RICHIAMI DI MATEMATICA E GRANDEZZE FISICHE (D.G. Mita)

■ 1.1	<b>Richiami di matematica</b>	1
	1.1.1 Il concetto di funzione	1
	1.1.2 Grafico di una retta	2
	1.1.3 Grandezze direttamente proporzionali	4
	1.1.4 Grandezze inversamente proporzionali	4
	1.1.5 Le funzioni trigonometriche	6
	1.1.6 Significato geometrico delle funzioni $\sin\alpha$ , $\cos\alpha$ e $\operatorname{tg}\alpha$	9
	1.1.7 Funzioni speciali	9
	1.1.8 Definizione di derivata	11
	1.1.9 Definizione di integrale	12
■ 1.2	<b>Grandezze fisiche</b>	13
	1.2.1 Sistema Internazionale: SI	13
	1.2.2 Dimensioni – Analisi dimensionale	15
■ 1.3	<b>Grandezze vettoriali</b>	16
	1.3.1 Segmenti orientati	16
	1.3.2 I vettori	17
	1.3.3 Componente di un vettore lungo una retta	18
	1.3.4 Componenti di un vettore in un piano cartesiano	18
	1.3.5 Componenti di un vettore in uno spazio tridimensionale	19
	1.3.6 Operazioni con i vettori	19
■ 1.4	<b>Teoria degli errori</b>	27
■ 1.5	<b>I campi in fisica</b>	32
	1.5.1 I campi scalari	32
	1.5.2 I campi vettoriali	34
■ 1.6	<b>Uso delle scale logaritmiche</b>	34
	<i>Esercizi</i>	39
	<i>Appendice</i>	54

### Capitolo 2

#### MECCANICA (P.F. Biagi, L. Feroci)

■ 2.1	<b>Generalità</b>	61
	2.1.1 Relatività del moto	61
	2.1.2 Posizione di un corpo	62
	2.1.3 Dimensioni e moto dei corpi	63
■ 2.2	<b>Cinematica</b>	64
	2.2.1 Generalità	64
	2.2.2 Moti fondamentali	66
	2.2.3 Moti nello spazio	69

## VIII ■ INDICE GENERALE

■ <b>2.3 Dinamica</b>	73
2.3.1. Alcune grandezze caratteristiche	73
2.3.2 I Principi della Meccanica	79
2.3.3 Forze	81
2.3.4 Ulteriori grandezze caratteristiche	87
2.3.5 I teoremi energetici	94
■ <b>2.4 Statica</b>	98
2.4.1 Generalità	98
2.4.2 Tipi di equilibrio	99
2.4.3 Equilibri ed energia potenziale gravitazionale	100
2.4.4 Equilibrio dei corpi appoggiati su piano orizzontale	101
■ <b>2.5 Elasticità</b>	102
2.5.1 Costanti elastiche	103
■ <b>2.6 Complementi</b>	104
2.6.1 Rototraslazioni	104
2.6.2 Moto pendolare	105
2.6.3 Sistemi di punti materiali	106
2.6.4 Centro di massa	109
<i>Esercizi</i>	116

## Capitolo 3

### I FLUIDI (*I. Ortalli, S. Bettati*)

■ <b>3.1 Caratteristiche generali</b>	127
3.1.1 Massa volumica	127
3.1.2 Pressione	128
3.1.3 Forze di coesione	132
3.1.4 Tensione superficiale	132
3.1.5 Capillarità	134
3.1.6 Formula di Laplace	137
■ <b>3.2 Equilibrio dei fluidi</b>	138
3.2.1 Introduzione	138
3.2.2 Forze esercitate sui corpi immersi: principio di Archimede	139
3.2.3 Legge di Stevino	141
3.2.4 Legge di Pascal	144
■ <b>3.3 Caratteristiche dei gas</b>	145
3.3.1 Considerazioni generali sui gas	145
3.3.2 Pressione atmosferica	146
■ <b>3.4 Moto dei liquidi ideali</b>	147
3.4.1 Regime stazionario	147
3.4.2 Portata o flusso di un fluido	148
3.4.3 Teorema di Bernoulli	150
3.4.4 Teorema di Torricelli	152
3.4.5 Tubo di Venturi	153

## INDICE GENERALE ■ IX

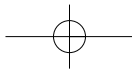
■ 3.5 Moto dei liquidi reali	154
3.5.1 Liquidi reali	154
3.5.2 Viscosità	156
3.5.3 Legge di Poiseuille	157
3.5.4 Fluidi in moto turbolento	160
3.5.5 Regime turbolento e numero di Reynolds	162
Esercizi	165

**Capitolo 4****TERMODINAMICA** (G. Roberti)

■ 4.1 Temperatura e calore	169
■ 4.2 La dilatazione termica	171
■ 4.3 Termometri e scale Termometriche	172
■ 4.4 Capacità termica e calore specifico	174
■ 4.5 Il trasporto del calore	175
4.5.1 Il trasporto di calore per conduzione	176
4.5.2 Il trasporto di calore per convezione	178
4.5.3 Il trasporto di calore per irraggiamento	179
■ 4.6 Le leggi della calorimetria ed i calorimetri	181
■ 4.7 Nomenclatura termodinamica: sistema, ambiente, stato, trasformazione	183
■ 4.8 Esperienza di Joule	184
■ 4.9 Il 1° principio della termodinamica	185
■ 4.10 Classificazione delle trasformazioni	187
■ 4.11 Capacità termica e calori specifici dei gas	190
■ 4.12 La funzione di stato entalpia	191
■ 4.13 Cambiamenti di stato	193
■ 4.14 Il rendimento di una macchina termica ed il teorema di Carnot	194
■ 4.15 L'evoluzione spontanea di un sistema	196
■ 4.16 La funzione di stato entropia	197
Esercizi	201

**Capitolo 5****FENOMENI DI NATURA ONDULATORIA** (P. Viglino)

■ 5.1 Onde trasversali, onde longitudinali	217
■ 5.2 Il modello di Huygens	220
■ 5.3 Onde monocromatiche e non, cenni sull'analisi di Fourier	221
■ 5.4 Riflessione e rifrazione	223



## X ■ INDICE GENERALE

■ 5.5	Interferenza	226
■ 5.6	Onde stazionarie	228
■ 5.7	Effetto Doppler	230

## Capitolo 6

### ONDE ACUSTICHE (M. Lepore)

---

■ 6.1	Introduzione	233
■ 6.2	Natura e velocità del suono	233
■ 6.3	Onde acustiche in movimento	236
■ 6.4	Intensità delle onde sonore	237
■ 6.5	Produzione di onde sonore. La voce umana	239
■ 6.6	Rivelatore di suoni: l'orecchio umano	241
■ 6.7	La risposta del sistema uditivo	243
■ 6.8	Proprietà soggettive del suono: volume, tono e timbro	245
■ 6.9	Effetto Doppler nelle onde acustiche	246

## Capitolo 7

### ELETTROSTATICA (V. Capozzi)

---

■ 7.1	La carica elettrica	247
■ 7.2	Legge di Coulomb	249
■ 7.3	Campo elettrico nel vuoto prodotto da una carica puntiforme	251
■ 7.4	Campo elettrico prodotto da due o più cariche puntiformi	253
■ 7.5	Linee del campo elettrico	255
■ 7.6	Energia potenziale elettrostatica	257
■ 7.7	Potenziale elettrostatico e differenza di potenziale	259
■ 7.7a	Definizione di elettronvolt	260
■ 7.7b	Nuova unità di misura del campo elettrico	260
■ 7.8	Analogia tra potenziale gravitazionale e potenziale elettrostatico	261
■ 7.9	Relazione tra potenziale elettrico e campo elettrico	262
■ 7.10	Potenziale elettrico in un campo elettrico uniforme	263
■ 7.11	Energia potenziale di due cariche puntiformi	264
■ 7.12	Potenziale elettrico generato da una carica puntiforme	266
■ 7.13	Superfici equipotenziali	267
■ 7.14	Dipolo elettrico	270

## INDICE GENERALE ■ XI

■ 7.15 Conduttori e isolanti (o dielettrici)	273
■ 7.16 Campo elettrico all'interno di un conduttore metallico	274
■ 7.17 Induzione elettrostatica	276
■ 7.18 Schermo elettrostatico	277
■ 7.19 Capacità elettrica di un conduttore	278
■ 7.20 Condensatori	279
■ 7.21 Energia elettrostatica di un condensatore	281
■ 7.22 Capacità equivalente di condensatori collegati in parallelo e in serie	282
■ 7.23 Dielettrici	285
■ 7.24 Legge di Coulomb in presenza di un dielettrico	287
■ 7.25 Polarizzazione dei dielettrici	288
<i>Esercizi</i>	291

**Capitolo 8****CORRENTE ELETTRICA** (V. Capozzi)

■ 8.1 Definizione di corrente elettrica	295
■ 8.2 Convenzione sul verso della corrente elettrica	296
■ 8.3 Densità di corrente elettrica	297
■ 8.4 Velocità media delle cariche elettriche libere in un conduttore	299
■ 8.5 Legge di Ohm (1826)	302
■ 8.6 Resistività elettrica	304
■ 8.7 Conduttività elettrica	308
■ 8.8 Effetto Joule e potenza elettrica	309
■ 8.9 Corrente alternata	312
■ 8.10 Valori efficaci della tensione alternata e della corrente alternata	314
■ 8.11 Conduzione nei liquidi	315
■ 8.12 Conduzione elettrica nelle soluzioni elettrolitiche	318
■ 8.13 Generatori di tensione e forza elettromotrice	322
8.13.1 Applicazioni: collegamenti di generatori in continua	324
■ 8.14 Corrente in un circuito elettrico	326
■ 8.15 Caduta di tensione su una resistenza elettrica	328
■ 8.16 Collegamento di resistenze elettriche in serie e in parallelo	329
■ 8.17 Leggi di Kirchhoff	333
■ 8.18 Circuiti RC	337
■ 8.19 Rischi connessi con l'elettricità	344
<i>Esercizi</i>	351



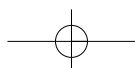
## XII ■ INDICE GENERALE

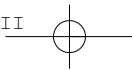
**Capitolo 9****CAMPO MAGNETICO E CORRENTI INDOTTE** (*V. Capozzi*)

■ 9.1	Magneti e campo magnetico	355
■ 9.2	Corrente elettrica e campo magnetico	362
■ 9.3	Forza su una corrente elettrica in presenza di un campo magnetico (esperienza di Faraday)	364
■ 9.4	Campo magnetico prodotto da un filo rettilineo percorso da corrente elettrica (Legge di Biot e Savart)	366
■ 9.5	Forze fra due conduttori paralleli percorsi da corrente (esperienza di Ampère)	368
■ 9.6	Campo magnetico di una spira circolare percorsa da corrente	371
■ 9.7	Interazioni campo magnetico – corrente elettrica	374
	9.7.1 Momento torcente agente su una spira percorsa da corrente in presenza di un campo magnetico	374
	9.7.2 Principio di equivalenza di Ampère	376
■ 9.8	Campo magnetico di un solenoide	378
■ 9.9	Teorema di Ampère	379
■ 9.10	Forza agente su una carica in moto in un campo magnetico (Forza di Lorentz)	385
■ 9.11	Moto di una carica elettrica in un campo magnetico uniforme	386
■ 9.12	Origine del campo magnetico nella materia	389
■ 9.13	Proprietà magnetiche della materia	391
■ 9.14	Permeabilità magnetica dei materiali	397
■ 9.15	Flusso del campo magnetico	399
■ 9.16	Induttanza di un circuito elettrico	402
■ 9.17	Induzione elettromagnetica	404
■ 9.18	Legge di Faraday-Neumann (1831)	407
■ 9.19	Legge di Lenz	412
■ 9.20	Autoinduzione elettromagnetica	414
■ 9.21	Energia del campo magnetico	417
■ 9.22	Densità di energia del campo magnetico	418
	<i>Esercizi</i>	419

**Capitolo 10****OTTICA** (*P. Viglino*)

■ 10.1	Onde elettromagnetiche	425
■ 10.2	Cenni di ottica fisica	427
	10.2.1 La polarizzazione della luce	427
	10.2.2 Luce coerente	430
	10.2.3 Diffrazione	430
	10.2.4 Dispersione della luce	432





## INDICE GENERALE ■ XIII

■ 10.3 Ottica geometrica	433
10.3.1 Il diotro	433
10.3.2 Lenti sottili	436
10.3.3 Costruzione grafica della immagine di una lente sottile	439
10.3.4 Aberrazioni ottiche	442

**Capitolo 11****RADIAZIONI** (A. Vitturi, F. Bersani)

---

■ 11.1 Introduzione	445
■ 11.2 Radiazioni, decadimenti radioattivi e legge dei decadimenti radioattivi	450
■ 11.3 Tempo di dimezzamento biologico	453
■ 11.4 I decadimenti più diffusi e le associate radiazioni	454
■ 11.5 Interazione delle radiazioni con la materia e cenni di dosimetria	457
■ 11.6 Effetti biologici delle radiazioni non ionizzanti	461

<b>Indice analitico</b>	479
-------------------------	-----

