

---

# Fisica

## *Semestre Filtro Medicina*

Teoria ed esercizi per Medicina,  
Odontoiatria e Veterinaria  
2<sup>a</sup> edizione

---



Gianpaolo Bellini • Carlo Altucci  
Roberto Cerbino • Andrea Duggento  
Giulio Manuzio • Francesco Marzari  
Vincenzo Monaco • Maria Quarto  
Luca Repetto • Melissa Tamisari  
Giuliano Zanchetta • Lucio Zennaro

# Fisica

## *Semestre Filtro Medicina*

Teoria ed esercizi per Medicina,  
Odontoiatria e Veterinaria  
2<sup>a</sup> edizione

**PICCIN**

Opera coperta dal diritto d'autore - Tutti i diritti sono riservati, inclusi quelli relativi a TDM (text and data mining), al training dell'intelligenza artificiale e/o di tecnologie similari.

Questo testo contiene materiale, testi ed immagini, coperto da copyright e non può essere copiato, riprodotto, distribuito, trasferito, noleggiato, licenziato o trasmesso in pubblico, venduto, prestato a terzi, in tutto o in parte, o utilizzato in alcun altro modo, compreso l'uso per TDM, training dell'intelligenza artificiale e/o tecnologie similari, o altrimenti diffuso, se non previa espressa autorizzazione dell'Editore.

Qualsiasi distribuzione o fruizione non autorizzata del presente testo, così come l'alterazione delle informazioni elettroniche, costituisce una violazione dei diritti dell'Editore e dell'Autore e sarà sanzionata civilmente e penalmente secondo quanto previsto dalla L. 633/1941 e ss.mm.

#### AVVERTENZA

Poiché le scienze sono in continua evoluzione, benché siano stati compiuti tutti gli sforzi necessari per pubblicare dati e informazioni affidabili, l'Editore non si assume alcuna responsabilità legale per eventuali errori od omissioni contenuti in questo volume. Né l'Editore né gli Autori o Collaboratori possono ritenersi responsabili per qualsiasi conseguenza e/o per qualsiasi lesione o danno a persone, animali o cose derivanti dall'applicazione delle informazioni contenute in quest'opera. L'Editore desidera precisare che qualsiasi opinione espressa in questo libro dai singoli Autori o Collaboratori è personale e non riflette necessariamente il punto di vista/l'opinione dell'Editore. Le informazioni o le indicazioni contenute in questo libro sono destinate all'uso da parte di professionisti del settore sanitario e/o scientifico e sono fornite esclusivamente come integrazione del giudizio del medico o di altri professionisti, della loro conoscenza dell'anamnesi del paziente, delle istruzioni del produttore e delle linee guida appropriate. Qualsiasi informazione o consiglio su dosaggi, procedure o diagnosi deve essere verificata in modo autonomo sotto stretta sorveglianza specialistica e attenendosi alle istruzioni per l'uso e alle controindicazioni contenute nei foglietti illustrativi. Questo libro non indica se un particolare trattamento sia appropriato o adatto a un determinato individuo. In ultima istanza, è responsabilità esclusiva del professionista sanitario formulare il proprio giudizio professionale, in modo da consigliare e trattare i singoli pazienti in modo adeguato.

Il nome di società o prodotti commerciali può corrispondere a ragioni sociali, marchi o marchi registrati ed è utilizzato esclusivamente per l'identificazione da parte del lettore e per la spiegazione dei concetti e dei case studies senza alcun intento pubblicitario o di utilizzo in violazione alla normativa vigente.

*Fisica per medicina*, I edizione (© 2019) a cura di:  
G. BELLINI – R. CERBINO – G. MANUZIO –  
F. MARZARI – L. REPETTO – L. ZENNARO

Aggiornamenti della II edizione:

Sezione SI: M. Tamisari  
Sezione C: M. Tamisari  
Sezione TE: M. Tamisari  
Sezione M: G. Zanchetta  
Sezione F: F. Marzari  
Sezione T: V. Monaco  
Sezione E: A. Duggento  
Sezione O: L. Repetto  
Sezione FAR: M. Quarto e C. Altucci

ISBN 978-88-299-3603-8

# Autori

## **Gianpaolo Bellini**

Professore Emerito  
Dipartimento di Fisica  
Università degli Studi di Milano

## **Carlo Altucci**

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

## **Roberto Cerbino**

Full Professor  
Faculty of Physics  
University of Vienna

## **Andrea Duggento**

Professore Associato  
Dipartimento di Biomedicina e prevenzione  
Università degli Studi di Roma “Tor Vergata”

## **Giulio Manuzio**

Già Professore Ordinario  
Facoltà di Medicina e Chirurgia  
Università degli Studi di Genova

## **Francesco Marzari**

Professore Associato  
Dipartimento di Fisica e Astronomia  
Università degli Studi di Padova

## **Vincenzo Monaco**

Professore Associato  
Dipartimento di Fisica  
Università degli Studi di Torino

## **Maria Quarto**

Professore Associato  
Dipartimento di Scienze biomediche avanzate  
Università degli Studi di Napoli “Federico II”

## **Luca Repetto**

Professore Associato  
Dipartimento di Fisica  
Università degli Studi di Genova

## **Melissa Tamisari**

Ricercatrice  
Dipartimento di Neuroscienze e Riabilitazione  
Università degli Studi di Ferrara

## **Giuliano Zanchetta**

Professore Associato  
Dipartimento di Biotecnologie Mediche e Medicina  
Traslazionale  
Università degli Studi di Milano “La Statale”

## **Lucio Zennaro**

Già Professore Aggregato  
Dipartimento di Medicina Molecolare  
Università degli Studi di Padova



# Indice generale

<b>SI</b>	<b>Grandezze fisiche e unità di misura</b> . . . . .	1
<b>SI1</b>	Grandezze fisiche. . . . .	1
<b>SI2</b>	Grandezze scalari e vettoriali. . . . .	3
<b>SI3</b>	Analisi dimensionale . . . . .	4
<b>SI4</b>	Notazione scientifica e ordini di grandezza. . . . .	5
	<b>Appendice A</b> Alcune costanti fisiche. . . . .	6
	<b>Appendice B</b> Tavola di Mendeleev . . . . .	7
<b>C</b>	<b>Alcuni cenni di calcolo matematico</b> . . . . .	9
<b>C1</b>	Funzioni e diagrammi . . . . .	9
	C1.1 Introduzione. . . . .	9
	C1.2 Diagramma di una funzione e sua rappresentazione grafica . . . . .	10
	C1.3 Rappresentazione grafica di alcune funzioni comuni . . . . .	11
<b>C2</b>	Calcolo vettoriale. . . . .	13
	C2.1 Operazioni sui vettori. . . . .	14
<b>C3</b>	Alcuni cenni di trigonometria . . . . .	17
	C3.1 Le variabili angolari. . . . .	17
	C3.2 Le funzioni trigonometriche . . . . .	18
	C3.3 Alcune proprietà delle funzioni trigonometriche . . . . .	19
	C3.4 Rappresentazione grafica delle funzioni circolari o trigonometriche . . . . .	20
<b>C4</b>	Alcuni simboli matematici utilizzati in fisica . . . . .	22
<b>C5</b>	Limite di una funzione. . . . .	22
<b>C6</b>	Derivata di una funzione . . . . .	24
<b>C7</b>	Funzione di più variabili . . . . .	26
<b>C8</b>	Derivata parziale . . . . .	27
<b>C9</b>	L'integrale . . . . .	27
	Esercizi di calcolo matematico . . . . .	31
	Soluzioni di calcolo matematico. . . . .	34
<b>TE</b>	<b>Alcune nozioni di teoria degli errori</b> . . . . .	35
<b>TE1</b>	Introduzione. . . . .	35
<b>TE2</b>	Distribuzioni di frequenza. . . . .	36
<b>TE3</b>	Elementi caratteristici di una distribuzione di frequenza. . . . .	37
<b>TE4</b>	Richiami sulla distribuzione normale o di Gauss delle frequenze . . . . .	38
<b>TE5</b>	Misura di una grandezza ed errore di osservazione. . . . .	40
<b>TE6</b>	Errori casuali . . . . .	41
<b>TE7</b>	Propagazione degli errori. . . . .	42
<b>TE8</b>	Combinazione di campioni ottenuti con misure diverse . . . . .	43
<b>M</b>	<b>Meccanica</b> . . . . .	45
<b>M0</b>	Introduzione. . . . .	45
<b>M1</b>	Forze e momenti. Moto ed equilibrio . . . . .	45
	M1.1 Le ipotesi e gli strumenti . . . . .	45
	M1.1.1 Corpo esteso e centro di massa . . . . .	45
	M1.1.2 Corpo deformabile, corpo rigido e ipotesi di punto materiale. . . . .	47
	M1.1.3 Forze, forze fondamentali e derivate, forze attive e passive . . . . .	48
	M1.2 Misurare il moto . . . . .	48
	M1.2.1 Legge oraria del moto, vettore posizione, vettore velocità media. . . . .	48
	M1.2.2 Vettore velocità istantanea, traiettoria, ascissa curvilinea . . . . .	50
	M1.2.3 Vettore accelerazione media e istantanea. . . . .	52
	M1.2.4 Accelerazione tangenziale e normale . . . . .	53
	M1.3 Moti semplici. . . . .	55
	M1.3.1 Moto rettilineo uniforme . . . . .	55
	M1.3.2 Moto rettilineo uniformemente accelerato (caduta libera). . . . .	56
	M1.3.3 Il moto parabolico . . . . .	58
	M1.3.4 Moto circolare . . . . .	60
	M1.3.5 Moto armonico semplice . . . . .	62
	M1.4 Leggi di Newton e forze . . . . .	63
	M1.4.1 La prima legge di Newton . . . . .	63
	M1.4.2 La seconda legge di Newton . . . . .	64
	M1.4.3 La terza legge di Newton o principio di azione e reazione . . . . .	65
	M1.4.4 Equilibrio traslazionale . . . . .	65
	M1.4.5 La forza gravitazionale e la forza peso. . . . .	66
	M1.4.6 La forza normale (o perpendicolare) . . . . .	67
	M1.4.7 Forza di attrito tra due corpi solidi. . . . .	68
	M1.4.8 Forza di attrito viscoso. . . . .	71

M1.4.9	Forza muscolare . . . . .	73	<b>F2</b>	Statica dei fluidi . . . . .	126
M1.4.10	Forza centripeta, forza centrifuga, forze apparenti, sistemi di riferimento inerziali . . . . .	74	F2.1	Isotropia delle pressioni . . . . .	126
M1.5	Elasticità di un solido . . . . .	74	F2.1.1	Martinetto idraulico . . . . .	127
M1.5.1	Legge di Hooke . . . . .	74	F2.2	Variazione della pressione con l'altezza . . . . .	128
M1.5.2	Trazione, compressione e taglio: sforzi e deformazioni . . . . .	75	F2.2.1	Pressione idrostatica: legge di Stevin . . . . .	128
M1.5.3	Curva sforzo-deformazione per un materiale. Elasticità e plasticità . . . . .	76	F2.3	Unità di misura della pressione . . . . .	131
M1.5.4	Moduli elastici . . . . .	77	<b>Applicazione F.1</b>	Embolia gassosa . . . . .	132
M1.5.5	Il punto di rottura: materiali duttili e materiali fragili . . . . .	77	<b>Applicazione F.2</b>	Pressione ortostatica . . . . .	133
M1.5.6	Curva sforzo-deformazione per un osso . . . . .	78	<b>Applicazione F.3</b>	Accelerazione e pressione sanguigna . . . . .	133
M1.6	Rotazione di un corpo rigido esteso . . . . .	79	<b>Applicazione F.4</b>	Mal di montagna: riduzione con l'altitudine del metabolismo dell'ossigeno . . . . .	134
M1.6.1	Momento di una forza . . . . .	80	F2.4	La spinta di Archimede . . . . .	136
M1.6.2	Momento di inerzia . . . . .	81	<b>F3</b>	Dinamica dei fluidi . . . . .	137
M1.6.3	Equilibrio rotazionale . . . . .	82	F3.1	Portata ed equazione di continuità . . . . .	137
M1.7	Esempi di statica del corpo umano . . . . .	85	F3.2	Liquidi non viscosi e teorema di Bernoulli . . . . .	139
M1.7.1	Equilibrio e stabilità dell'uomo . . . . .	85	<b>Applicazione F.5</b>	Aneurisma e stenosi . . . . .	140
M1.7.2	Leve . . . . .	87	<b>Applicazione F.6</b>	Attacco ischemico transitorio . . . . .	141
M1.7.3	Leve del corpo umano . . . . .	89	F3.3	Liquidi viscosi . . . . .	142
<b>Applicazione M.1</b>	Il principio di azione e reazione è alla base della locomozione umana . . . . .	92	F3.4	Moto di un fluido in regime di Poiseuille . . . . .	144
<b>Applicazione M.2</b>	Dimensione delle vertebre . . . . .	92	F3.5	Regime macrovorticoso o idraulico . . . . .	148
<b>Applicazione M.3</b>	Forze alle quali è sottoposta la spina dorsale . . . . .	93	F3.6	Fluidi non newtoniani . . . . .	149
<b>Applicazione M.4</b>	Forze alle quali è sottoposto il femore durante la deambulazione . . . . .	96	<b>Applicazione F.7</b>	La circolazione del sangue . . . . .	150
<b>Applicazione M.5</b>	Velocità naturale di camminata . . . . .	98	F3.7	Legge di Stokes . . . . .	151
<b>M2</b>	Lavoro, energia, potenza . . . . .	98	<b>Applicazione F.8</b>	La resistenza del sistema circolatorio . . . . .	152
M2.1	Lavoro ed energia cinetica . . . . .	99	<b>F4</b>	Capillarità . . . . .	153
M2.1.1	Lavoro di una forza costante . . . . .	99	F4.1	Forze di Van Der Waals . . . . .	153
M2.1.2	Lavoro di una forza arbitraria . . . . .	100	F4.2	Tensione superficiale . . . . .	153
M2.1.3	Energia cinetica e teorema dell'energia cinetica . . . . .	102	F4.3	Legge di Laplace . . . . .	154
M2.2	Energia potenziale, forze conservative e forze dissipative . . . . .	102	F4.4	Capillarità . . . . .	155
M2.2.1	Energia potenziale . . . . .	102	<b>Applicazione F.9</b>	La bolla di sapone . . . . .	156
M2.3	Energia meccanica e condizioni per la sua conservazione . . . . .	104	Esercizi di meccanica dei fluidi . . . . .	157	
M2.4	Lavoro ed energia per il moto rotazionale attorno ad un asse fisso . . . . .	105	Soluzioni degli esercizi di meccanica dei fluidi . . . . .	162	
M2.5	Potenza . . . . .	105	<b>T</b>	<b>Termodinamica</b> . . . . .	173
M2.6	Urti . . . . .	105	<b>T1</b>	La temperatura . . . . .	173
Esercizi di meccanica . . . . .	107	T1.1	Sistema e grandezze termodinamiche. Pressione e volume . . . . .	173	
Soluzioni degli esercizi di meccanica . . . . .	114	T1.2	La temperatura . . . . .	174	
<b>F</b>	<b>Meccanica dei fluidi</b> . . . . .	125	T1.3	Contatto termico e calore . . . . .	175
<b>F1</b>	Introduzione . . . . .	125	T1.4	Conduttori e isolanti . . . . .	176
F1.1	I fluidi . . . . .	125	T1.5	Equazione di stato dei gas perfetti . . . . .	177
			T1.6	Teoria cinetica dei gas . . . . .	179
			T1.7	La legge di Dalton . . . . .	182
			T1.8	Gas reali . . . . .	182
			T1.8.1	Pressione di vapore saturo . . . . .	182
			T1.8.2	Umidità relativa . . . . .	183
			<b>T2</b>	Il calore . . . . .	182

T2.1	Interpretazione del calore . . . . .	184	<b>E</b>	<b>Elettromagnetismo</b> . . . . .	247
T2.2	Il calore specifico e molare . . . . .	185	<b>E1</b>	Introduzione . . . . .	247
T2.3	Scambi di calore . . . . .	187	<b>E1</b>	La carica elettrica . . . . .	247
T2.4	Equivalente meccanico della caloria . . . . .	189	<b>E1</b>	La legge di Coulomb . . . . .	248
<b>T3</b>	<b>Energia interna e primo principio della termodinamica . . . . .</b>	<b>191</b>	<b>E4</b>	<b>Il campo elettrico . . . . .</b>	<b>248</b>
T3.1	L'energia interna . . . . .	191	E4.1	Isolanti, conduttori e la costante dielettrica . . . . .	249
T3.2	Come varia l'energia interna di un corpo . . . . .	192	E4.2	Il teorema di Gauss . . . . .	250
T3.3	Primo principio della termodinamica . . . . .	193	E4.3	Il principio di sovrapposizione e il calcolo dei campi elettrici in generale . . . . .	252
T3.4	Trasformazioni termodinamiche . . . . .	195	<b>E5</b>	<b>Campi elettrici uniformi: il condensatore piano . . . . .</b>	<b>253</b>
T3.5	Il significato microscopico dell'energia interna dei gas . . . . .	198	<b>E6</b>	<b>Energia potenziale e potenziale elettrico . . . . .</b>	<b>254</b>
T3.6	Trasformazioni di energia interna nelle reazioni chimiche . . . . .	199	E6.1	L'elettronvolt . . . . .	254
T3.7	Meccanismi di trasmissione del calore . . . . .	199	E6.2	Potenziale elettrico di una carica puntiforme . . . . .	254
	<b>Applicazione T.1</b> Metabolismo corporeo . . . . .	<b>202</b>	E6.3	Campo elettrico e potenziale in un condensatore piano . . . . .	255
	<b>Applicazione T.2</b> Termoregolazione corporea . . . . .	<b>203</b>	E6.4	Capacità e condensatori . . . . .	255
	<b>Applicazione T.3</b> Valutazione del calore perduto con la respirazione . . . . .	<b>204</b>	E6.5	Energia accumulata in un condensatore . . . . .	256
<b>T4</b>	<b>Il secondo principio della termodinamica . . . . .</b>	<b>205</b>	<b>E7</b>	<b>I dipoli elettrici . . . . .</b>	<b>257</b>
T4.1	La freccia del tempo . . . . .	205	<b>E8</b>	<b>Circuiti elettrici . . . . .</b>	<b>259</b>
T4.2	Il secondo principio della termodinamica . . . . .	206	E8.1	La corrente elettrica . . . . .	259
T4.3	L'entropia . . . . .	207	E8.2	Il circuito elettrico base . . . . .	260
T4.3.1	Trasformazioni reversibili e irreversibili . . . . .	207	<b>E9</b>	<b>La misura delle energie potenziali di una carica elettrica . . . . .</b>	<b>261</b>
T4.3.2	Calore e lavoro . . . . .	208	E9.1	Il concetto di differenza di potenziale . . . . .	261
T4.3.3	La funzione di stato Entropia . . . . .	209	E9.2	Elementi di utilizzazione molto particolari: le resistenze . . . . .	262
T4.3.4	Entropia e disordine . . . . .	214	E9.3	Resistenze in serie e in parallelo . . . . .	263
T4.3.5	La funzione di stato Entalpia . . . . .	214	E9.4	Potenza elettrica e dissipazione nelle resistenze . . . . .	264
T4.3.6	L'energia libera . . . . .	216	E9.5	Il concetto di forza elettromotrice . . . . .	264
T4.3.6.1	La funzione di Gibbs . . . . .	216	<b>E10</b>	<b>Circuiti in corrente continua e in corrente variabile . . . . .</b>	<b>265</b>
T4.3.6.2	La variazione di energia libera e la spontaneità delle reazioni . . . . .	218	E10.1	Indicazioni generali . . . . .	265
<b>T5</b>	<b>Meccanismi di trasporto attraverso le membrane . . . . .</b>	<b>219</b>	E10.2	Carica e scarica dei condensatori . . . . .	266
T5.1	La termodinamica delle soluzioni . . . . .	219	<b>E11</b>	<b>Il campo magnetico . . . . .</b>	<b>268</b>
T5.1.1	La diffusione libera . . . . .	219	E11.1	La forza di Lorentz . . . . .	268
	<b>Applicazione T.4</b> Diffusione libera e sistema circolatorio . . . . .	<b>221</b>	E11.2	La seconda equazione di Maxwell. La legge di Gauss magnetica . . . . .	270
T5.1.2	Osmosi e pressione osmotica . . . . .	222	E11.3	Unità di misura: il Tesla e il Weber . . . . .	270
	<b>Applicazione T.5</b> Il passaggio di solventi attraverso le membrane . . . . .	<b>226</b>	E11.4	La legge di Ampere . . . . .	271
T5.1.3	Il potenziale chimico . . . . .	227	E11.4.1	Flusso concatenato con una linea aperta . . . . .	271
T5.2	Gli equilibri termodinamici . . . . .	228	E11.4.2	La legge di Ampere. La circuitazione dei campi magnetici in situazioni statiche . . . . .	271
T5.2.1	Equilibrio di concentrazione . . . . .	229	<b>E12</b>	<b>Sorgenti tipiche di campo magnetico . . . . .</b>	<b>272</b>
T5.2.2	Solubilità dei gas nei liquidi: la legge di Henry . . . . .	230	E12.1	La legge di Biot Savart: il campo magnetico prodotto da fili rettilinei percorsi da corrente . . . . .	272
T5.2.3	La diffusione di ioni e l'origine del potenziale di membrana . . . . .	232	E12.2	I solenoidi . . . . .	273
	Esercizi di termodinamica . . . . .	236			
	Soluzioni degli esercizi di termodinamica . . . . .	244			

E12.3	Spire percorse da corrente . . . . .	274	O2.2.1	Le discontinuità nell'impedenza . . . . .	324
<b>E13</b>	I momenti magnetici . . . . .	275	<b>Applicazione O.1</b>	Apparato fonatorio . . . . .	325
E13.1	I momenti magnetici e la loro energia di posizione . . . . .	275	<b>Applicazione O.2</b>	Apparato uditivo . . . . .	327
E13.2	Dipoli magnetici atomici . . . . .	276	O2.3	Sensazione sonora . . . . .	329
E13.2.1	Proprietà magnetiche dei materiali: esempi e applicazioni. . . . .	277	O2.4	Regioni nello spettro delle onde acustiche . . . . .	329
E13.3	I dipoli magnetici nucleari. . . . .	278	<b>Applicazione O.2.1</b>	La trasduzione delle onde di pressione. . . . .	329
<b>E14</b>	L'induzione elettromagnetica . . . . .	278	<b>Applicazione O.3</b>	Ecografia. . . . .	331
E14.1	La legge di Faraday dell'induzione elettromagnetica. . . . .	279	O2.5	Effetto Doppler . . . . .	332
E14.1.1	Regola del segno: la legge di Lenz e la corrente indotta . . . . .	279	<b>O3</b>	Ottica . . . . .	334
E14.2	La quarta equazione di Maxwell in forma completa: la legge di Ampere-Maxwell. . . . .	280	O3.1	Le onde elettromagnetiche. . . . .	334
<b>E15</b>	Onde elettromagnetiche . . . . .	281	O3.2	L'intensità luminosa. . . . .	335
E15.1	La velocità della luce. . . . .	281	O3.3	La propagazione della luce e la trasformazione dei fronti d'onda . . . . .	337
E15.2	Studio dell'origine di un'onda elettromagnetica. Le antenne. . . . .	282	O3.3.1	Riflessione e rifrazione della luce . . . . .	337
<b>Applicazione E.1</b>	Lo spettrometro di massa . . . . .	285	O3.3.2	Il fenomeno della dispersione . . . . .	339
<b>Applicazione E.2</b>	La trasmissione di segnali lungo gli assoni del sistema nervoso . . . . .	287	O3.3.3	Attenuazione della luce e densità ottica . . . . .	340
<b>Applicazione E.3</b>	La codificazione delle informazioni nervose . . . . .	290	O3.3.4	L'interferenza e la coerenza. . . . .	341
<b>Applicazione E.4</b>	I principi fisici della elettrocardiografia, elettroencefalografia ed elettromiografia . . . . .	292	O3.3.5	La propagazione dei fronti d'onda e la diffrazione. . . . .	343
Esercizi di elettromagnetismo. . . . .		295	O3.4	La formazione dell'immagine . . . . .	345
Soluzioni degli esercizi di elettromagnetismo . . . . .		304	O3.4.1	I "sensori" di immagine. . . . .	345
<b>O</b>	<b>Onde</b> . . . . .	309	O3.4.2	L'approssimazione dell'ottica geometrica . . . . .	346
<b>O1</b>	Generalità sulle onde . . . . .	309	O3.4.3	Il diottero sferico . . . . .	346
O1.1	Introduzione. . . . .	309	O3.4.4	La lente sottile . . . . .	348
O1.2	L'onda trasporta energia ma non materia . . . . .	309	O3.4.5	La costruzione dell'immagine mediante il tracciamento dei raggi. . . . .	350
O1.3	Le caratteristiche delle onde . . . . .	310	O3.4.6	Il limite di risoluzione . . . . .	351
O1.4	Equazione delle onde. . . . .	311	O3.4.7	Sistemi composti da più lenti. . . . .	353
O1.5	Fronti d'onda e sorgenti. . . . .	312	O3.4.8	Le aberrazioni . . . . .	354
O1.5.1	Fronti d'onda sferici . . . . .	312	<b>Applicazione O.4</b>	Apparato visivo. . . . .	355
O1.5.2	Fronti d'onda piani . . . . .	313	<b>Applicazione O.4.1</b>	L'acuità visiva . . . . .	357
O1.6	La propagazione dei fronti d'onda nello spazio . . . . .	314	<b>Applicazione O.4.2</b>	Ametropie e loro correzione mediante lenti oftalmiche . . . . .	359
O1.6.1	Riflessione e rifrazione . . . . .	314	<b>Applicazione O.4.3</b>	Il processo elettrochimico della visione . . . . .	360
O1.6.2	Diffrazione. . . . .	315	<b>Applicazione O.5</b>	Strumentazione ottica in medicina . . . . .	361
O1.6.3	Assorbimento. . . . .	315	<b>Applicazione O.5.1</b>	Il microscopio ottico . . . . .	361
O1.7	Onde periodiche. . . . .	316	<b>Applicazione O.5.2</b>	Il laser . . . . .	363
O1.7.1	Onde sinusoidali . . . . .	317	<b>Applicazione O.5.3</b>	Le fibre ottiche. . . . .	365
O1.7.2	Onde piane sinusoidali. . . . .	318	Esercizi sulle onde . . . . .		366
O1.7.3	Teorema di Fourier. . . . .	318	Soluzioni degli esercizi sulle onde . . . . .		373
O1.7.4	Elementi risonanti e onde stazionarie. . . . .	319	<b>FAR</b>	<b>Fisica atomica e delle radiazioni</b> . . . . .	377
<b>O2</b>	Acustica. . . . .	320	<b>FAR1</b>	Introduzione. . . . .	377
O2.1	Le onde sonore. . . . .	321	<b>FAR2</b>	La quantizzazione . . . . .	377
O2.1.1	Velocità del suono nei gas perfetti . . . . .	322	<b>FAR3</b>	Spettri di emissione e di assorbimento . . . . .	379
O2.2	Intensità sonora e impedenza acustica . . . . .	323	<b>FAR4</b>	La struttura dell'atomo . . . . .	380
			<b>FAR5</b>	I livelli energetici dell'atomo di idrogeno . . . . .	383
			<b>FAR6</b>	Un passaggio alla Meccanica Quantistica . . . . .	385
			<b>FAR7</b>	Il modello dell'atomo alla luce della Meccanica Quantistica. . . . .	387

FAR7.1 Cenni agli effetti della quantizzazione nella fisica nucleare e subnucleare . . . . .	391
<b>FAR8</b> Gli atomi e l'assorbimento di energia: eccitazione e ionizzazione. . . . .	393
FAR8.1 Il concetto di sezione d'urto . . . . .	394
FAR8.2 Il fenomeno della ionizzazione . . . . .	396
<b>FAR9</b> Le interazioni con la materia dei fotoni a bassa energia. . . . .	399
<b>FAR10</b> Le interazioni con la materia dei fotoni ad alta energia . . . . .	401
FAR10.1 I tubi a raggi X (Tubi Radiogeni) e il fenomeno della Bremsstrahlung. . . . .	402
FAR10.2 Utilizzo dei raggi X. . . . .	403
<b>FAR11</b> Acceleratori di particelle. . . . .	406
<b>FAR12</b> La radioattività . . . . .	408
FAR 12.1 Cenni alla struttura dei nuclei e la legge del decadimento radioattivo . . . . .	408
FAR12.2 Il tempo di dimezzamento dei radionuclidi e il tempo di dimezzamento efficace . . . . .	409
FAR12.3 I decadimenti radioattivi . . . . .	409
<b>FAR13</b> Radiazioni e organismi biologici. . . . .	412
<b>FAR14</b> Cenni di radioprotezione. . . . .	413
<b>FAR15</b> Alcuni cenni su come si misurano le radiazioni. . . . .	414
Esercizi sulla fisica atomica e sulle radiazioni . . . . .	416
Soluzioni sulla fisica atomica e sulle radiazioni . . . . .	421
<b>Indice analitico. . . . .</b>	<b>423</b>

