

# Indice generale

In colore **azzurro** sono evidenziate le risorse online raggiungibili con l'applicazione **GUARDA!** o visitando il sito del libro. La pagina indicata riporta il marker per accedere tramite smartphone.

Prefazione: la fisica e la biologia	XVII	<b>Capitolo 2</b>	
<b>Capitolo 1</b>		<b>La meccanica</b>	49
<b>Gli strumenti matematici per la fisica</b>	1	<b>2.1</b> L'importanza della meccanica	50
<b>1.1</b> Che rapporto esiste tra fisica e matematica? E tra matematica e biologia?	2	<b>2.2</b> La descrizione del moto	51
<i>Nota storica – Storia del concetto di legge matematica</i> 3		2.2.1 Il concetto di punto materiale	51
1.1.1 La matematica e la descrizione del mondo naturale	4	2.2.2 La velocità	52
<b>1.2</b> I sistemi di unità di misura: una breve storia	6	<i>Nota storica – I quattro argomenti di Zenone contro il movimento e alcune considerazioni sul dualismo pensiero/realità</i> 54	
1.2.1 L'unità di misura della lunghezza	10	<i>Esempio 2.1 La velocità istantanea di una reazione chimica</i> 56	
1.2.2 L'unità di misura della massa	10	2.2.3 L'accelerazione	56
1.2.3 L'unità di misura del tempo	11	<b>2.3</b> Il moto in due dimensioni	57
1.2.4 L'unità di misura della temperatura	11	<b>2.4</b> Alcuni caratteristici tipi di moto	59
1.2.5 L'unità di misura della corrente elettrica	11	2.4.1 Il moto rettilineo uniforme	59
1.2.6 L'unità di misura dell'intensità luminosa	12	2.4.2 Il moto rettilineo con accelerazione costante	60
1.2.7 L'unità di misura della quantità di sostanza	12	2.4.3 L'interpretazione geometrica dello spazio percorso nel diagramma velocità in funzione del tempo	62
<i>Esempio 1.1 La scala delle dimensioni in biologia</i> 12		<i>Esempio 2.2 L'incrocio tra due ciclisti</i> 63 – <i>Esempio 2.3 Un sasso cade in un pozzo</i> 63 – <i>Esempio 2.4 Una moto che accelera</i> 63 – <i>Esempio 2.5 Accelerazione e decelerazione</i> 65 – <i>Esempio 2.6 Il tempo di frenata</i> 66 – <i>Esempio 2.7 Un inseguimento in automobile</i> 66 – <i>Esempio 2.8 Un'automobile in frenata</i> 67 – <i>Esempio 2.9 Una corsa per prendere l'autobus</i> 67	
<i>Nota storica – Eratostene e la misura del meridiano terrestre</i> 13		<b>2.5</b> Il moto circolare uniforme	67
<b>1.3</b> Il controllo dimensionale	13	<i>Esempio 2.10 Il moto circolare di una ruota</i> 71 – <i>Esempio 2.11 Le lancette dell'orologio si muovono di moto circolare uniforme</i> 72	
<i>Esempio 1.2 La forza di trascinamento in un fluido</i> 15 – <i>Esempio 1.3 La velocità del suono in un gas</i> 16		<b>2.6</b> Il moto armonico	72
<b>1.4</b> I vettori e i sistemi di riferimento	17	<i>Esempio 2.12 Un oscillatore armonico</i> 74	
1.4.1 La somma di vettori	17	<b>2.7</b> Velocità caratteristiche in biologia	74
1.4.2 La moltiplicazione di un vettore per uno scalare	18	2.7.1 La velocità dei motori molecolari	75
1.4.3 I sistemi di riferimento	18	2.7.2 La velocità dei segnali nervosi	76
<i>Esempio 1.4 Dalle coordinate polari alle coordinate cartesiane in due dimensioni</i> 20 – <i>Esempio 1.5 Equazioni in coordinate cartesiane e polari</i> 21		2.7.3 La velocità di movimento di una cellula	77
1.4.4 Il prodotto scalare tra due vettori	21	<b>2.8</b> Una visione d'insieme dei principi del moto di Newton	79
1.4.5 Il prodotto vettoriale tra due vettori	22	<i>Nota storica – Newton e i Principia</i> 81	
1.4.6 Le componenti di un vettore	23	<b>2.9</b> I principi del moto di Newton	82
1.4.7 La geometria e la fisica	26	2.9.1 Il primo principio del moto di Newton	83
<i>Esempio 1.6 Le rotazioni possono essere considerate dei vettori?</i> 28		2.9.2 Il secondo principio del moto di Newton	84
<b>1.5</b> Il radiante e la trigonometria	29	2.9.3 Il terzo principio del moto di Newton	90
<b>1.6</b> Il calcolo: la derivata e l'integrale	31	<b>2.10</b> Quantità di moto e sua conservazione	91
<i>Esempio 1.7 Dall'accelerazione alla velocità e allo spazio percorso</i> 35 – <i>Esempio 1.8 La forza di gravità e la forza elettrica</i> 37		<i>Nota storica – La quantità di moto</i> 93	
1.6.1 Le derivate parziali	38	<i>Esempio 2.13 La medusa e la conservazione della quantità di moto</i> 93	
<b>1.7</b> Funzioni esponenziale e logaritmica	40	<b>2.11</b> La legge di gravitazione universale	94
<b>1.8</b> Cenni per la risoluzione di equazioni differenziali	42	<b>2.12</b> Massa inerziale e massa gravitazionale	97
<i>Esempio 1.9 La derivazione della legge di Lambert-Beer per l'assorbimento della luce da parte di un materiale</i> 45		<b>2.13</b> La forza elettrica	99
<b>1.9</b> Lo sviluppo in serie di Taylor	46	<b>2.14</b> Il concetto di campo di forza e forza a distanza	100
<i>Esempio 1.10 L'equazione del moto per un pendolo semplice</i> 47		<b>2.15</b> I principi del moto di Newton applicati a semplici casi	102
<i>Esercizi svolti, bibliografia e sitografia del capitolo</i>			

2.15.1 Il piano inclinato	102	<b>Capitolo 4</b>	
<i>Nota storica – L'esperimento del piano inclinato di Galilei 103</i>		<b>Lavoro ed energia</b>	157
<i>Esempio 2.14 Una carrucola e un piano inclinato 104</i>		<b>4.1</b> Un'introduzione al concetto di energia	158
2.15.2 La macchina di Atwood	106	<b>4.2</b> Il lavoro di una forza	161
2.15.3 Il moto dei proiettili	107	<i>Esempio 4.1 Una scatola in un ascensore 164</i>	
<i>Esempio 2.15 Il moto parabolico con inizio e fine su piani diversi 110 – Esempio 2.16 Il moto di un oggetto lasciato cadere da un aereo 111</i>		<b>4.3</b> L'energia cinetica	164
2.15.4 Il moto di un oggetto su una traiettoria circolare	112	<b>4.4</b> La potenza	166
<i>Esempio 2.17 Il moto circolare su un piano verticale 112 – Esempio 2.18 Sollevamento di una sfera che ruota 113</i>		<i>Nota storica – IL teorema delle forze vive 166</i>	
2.15.5 Il pendolo semplice	113	<b>4.4.1</b> La potenza dei nostri muscoli	167
<i>Esempio 2.19 La misura di g con il pendolo 115 – Esempio 2.20 Il pendolo conico 115</i>		<i>Esempio 4.2 La potenza prodotta da un muscolo 168</i>	
<b>2.16</b> Le forze apparenti	116	<b>4.5</b> L'energia potenziale	170
<i>Nota storica – Galileo Galilei e la sua eredità 117</i>		<i>Esempio 4.3 Il lavoro della forza peso è indipendente dal percorso da una posizione iniziale a una posizione finale 171</i>	
<i>Esempio 2.21 In una carrozza di un treno che frena 120 – Esempio 2.22 Un pendolo in un ascensore 121</i>		<b>4.6</b> Le forze conservative	172
<b>2.17</b> Il pendolo di Foucault	122	<i>Esempio 4.4 La conservazione dell'energia meccanica 173 – Esempio 4.5 Una massa fermata da una molla 174</i>	
<b>2.18</b> La forza di Coriolis	122	<b>4.7</b> La relazione tra energia potenziale e forza	176
<i>Esercizi svolti, bibliografia e sitografia del capitolo</i>		<b>4.8</b> La relazione tra le superfici con energia potenziale costante e la forza corrispondente	177
<b>Capitolo 3</b>		<b>4.9</b> Diagrammi di energia e posizioni di equilibrio	178
<b>La forza elastica e l'attrito</b>		<i>4.9.1 L'approssimazione della curva di energia potenziale in prossimità di un minimo 179</i>	
<b>3.1</b> <i>Ut tensio sic vis</i> : la forza elastica	124	<b>4.10</b> L'energia potenziale associata alla forza gravitazionale e alla forza elettrica	180
<i>Nota storica – L'instancabile Robert Hooke e la nascita della teoria cellulare 126</i>		<i>Esempio 4.6 Un satellite in orbita attorno alla Terra 181 – Esempio 4.7 Una massa agganciata a una molla in un campo gravitazionale 181</i>	
<i>Esempio 3.1 Una molla in verticale 129 – Esempio 3.2 L'equilibrio di una molla su un piano inclinato 130 – Esempio 3.3 La frequenza di oscillazione di due masse poste alle estremità opposte di una molla 131 – Esempio 3.4 Il moto armonico di una molla 132 – Esempio 3.5 Come calcolare la costante elastica di una molla 133</i>		<b>4.11</b> Le reazioni chimiche possono essere influenzate da forze meccaniche	184
<b>3.2</b> Molle in serie e molle in parallelo	134	<i>Esempio 4.8 L'energia potenziale gravitazionale per un pendolo semplice 185 – Esempio 4.9 Una massa fermata da una molla su un piano inclinato 187</i>	
<i>Esempio 3.6 Due molle collegate in parallelo 135 – Esempio 3.7 Due molle collegate in parallelo 135</i>		<b>4.12</b> Il potenziale di Lennard-Jones	187
<b>3.3</b> La molla come modello per i sistemi biologici	135	<i>Esempio 4.10 I parametri <math>\epsilon</math> e <math>\sigma</math> del potenziale di Lennard-Jones 189 – Esempio 4.11 Un sistema legato 190</i>	
<b>3.4</b> Le forze di attrito	137	<b>4.13</b> La meccanica dei muscoli scheletrici	191
<b>3.4.1</b> Attrito statico e attrito dinamico	138	<i>Esercizi svolti, bibliografia e sitografia del capitolo</i>	
<i>Esempio 3.8 Una cassa sul pianale di un furgone che parte 139 – Esempio 3.9 Il piano inclinato con attrito 141 – Esempio 3.10 Un blocco in salita su un piano inclinato con attrito 143 – Esempio 3.11 La carrucola sul piano inclinato 144 – Esempio 3.12 Un'automobile in curva 145</i>		<b>Capitolo 5</b>	
<b>3.4.2</b> L'attrito di rotolamento	146	<b>La meccanica rotazionale e gli urti</b>	197
<b>3.5</b> Moto in presenza di forze resistenti	146	<b>5.1</b> Dal punto materiale ai corpi estesi	198
<i>Esempio 3.13 Lo spazio di arresto di un corpo rallentato da una forza direttamente proporzionale alla velocità 148 – Esempio 3.14 La distanza percorsa da un oggetto in caduta libera e sottoposto a una forza resistente 149</i>		<b>5.2</b> Il centro di massa	199
<b>3.6</b> La meccanobiologia e la produzione di forze all'interno della cellula	152	<i>Esempio 5.1 Dove si trova il centro di massa? 200 – Esempio 5.2 Il centro di massa per una sbarra rettilinea 201</i>	
<b>3.6.1</b> La fisica dei legami catch-bonds	155	<b>5.3</b> Cinematica e dinamica del centro di massa	202
<i>Esercizi svolti, bibliografia e sitografia del capitolo</i>		<b>5.4</b> La cinematica rotazionale	204
		<i>Esempio 5.3 Il moto rotazionale di una centrifuga 207 – Esempio 5.4 Il moto rotatorio in biologia 208 – Esempio 5.5 Il batterio che nuota 210</i>	
		<b>5.5</b> L'energia cinetica rotazionale	211
		<i>Esempio 5.6 Il momento d'inerzia per quattro punti materiali 212</i>	

<b>5.6</b> Il calcolo del momento d'inerzia rotazionale	212	6.4.1	Il moto sottosmorzato	253
<b>5.7</b> Il teorema degli assi paralleli	214	6.4.2.	Il moto sovrasmorzato	253
<b>5.8</b> Il momento di una forza	217	6.4.3	Il moto criticamente smorzato	254
<i>Esempio 5.7 Il centro di massa e il centro di gravità di un corpo 218</i>		<b>6.5</b>	Oscillazioni forzate e smorzate: la risonanza	254
<b>5.9</b> La coppia di forze	220	<b>6.6</b>	Potenza dissipata e potenza trasferita per un oscillatore smorzato forzato	257
<b>5.10</b> L'equilibrio dei corpi	220	<b>6.7</b>	Il fattore di qualità della risonanza	258
<i>Esempio 5.8 L'equilibrio di una tavola sollevata da due persone 220 – Esempio 5.9 Il tuffatore dal trampolino 221 – Esempio 5.10 Tenere un'asse in posizione orizzontale con una fune 222 – Esempio 5.11 Sollevare una massa 223</i>		6.7.1	Il caso del Tacoma Bridge	258
<b>5.11</b> La dinamica rotazionale	224	<b>6.8</b>	Le onde meccaniche	259
<i>Esempio 5.12 Fermare un'ultracentrifuga 225</i>		<i>Esempio 6.2 Le onde sulla superficie dell'acqua 261</i>		
<b>5.12</b> Il lavoro nel moto rotatorio	226	<b>6.9</b>	La rappresentazione analitica di un'onda che si propaga	261
<i>Esempio 5.13 La puleggia massiva 226 – Esempio 5.14 La macchina di Atwood con puleggia massiva 229 – Esempio 5.15 La composizione dei moti traslazionale e rotazionale 230 – Esempio 5.16 Conservazione dell'energia meccanica 231 – Esempio 5.17 Il pendolo fisico o composto 233 – Esempio 5.18 L'orologio a pendolo 235 – Esempio 5.19 La forza di attrito per il rotolamento 236</i>		<i>Esempio 6.3 L'ampiezza di un'onda 263</i>		
<b>5.13</b> Le leve	237	<b>6.10</b>	L'energia associata a un'onda	263
<i>Esempio 5.20 Una leva del I genere 239 – Esempio 5.21 Le carrucole come leve del I o II genere 239</i>		<i>Approfondimento – Dimostrazione Equazione [6.21] 264</i>		
<b>5.14</b> Le leve nel corpo umano	240	<b>6.11</b>	La riflessione delle onde	264
<b>5.15</b> Il momento angolare	241	<i>Approfondimento – Dimostrazione Equazione [6.23] 265</i>		
5.15.1 La conservazione del momento angolare	242	<b>6.12</b>	L'equazione d'onda lineare	266
<i>Esempio 5.22 La conservazione del momento angolare per la ballerina 243</i>		<i>Approfondimento – Dimostrazione Equazione [6.24] 266</i>		
<b>5.16</b> Il moto della trottola: la precessione	244	<b>6.13</b>	L'interferenza tra onde	268
<b>5.17</b> Gli urti	245	6.13.1	L'interferenza tra onde prodotte da due sorgenti	270
5.17.1 L'urto totalmente anelastico	245	<i>Esempio 6.4 L'interferenza tra due onde che si propagano 271</i>		
<i>Esempio 5.23 Un proiettile conficcato nel bersaglio 245</i>		<b>6.14</b>	Il principio di Huygens	272
5.17.2 Urti elastici	245	<b>6.15</b>	La diffrazione	273
<i>Esempio 5.24 Due pendoli che si urtano 245 – Esempio 5.25 Il rallentamento dei neutroni e gli urti nel sistema del centro di massa 245 – Esempio 5.26 L'urto elastico di un neutrone con un nucleo di carbonio 245 – Esempio 5.27 Un urto in due dimensioni tra particelle di uguale massa 245</i>		<b>6.16</b>	Le onde stazionarie nelle corde	274
5.17.3 Urti anelastici	245	6.16.1	Le onde stazionarie in una corda di chitarra	276
<i>Esempio 5.28 L'urto anelastico in due dimensioni 245</i>		<b>6.17</b>	Il suono	277
<b>5.18</b> Gli urti e la cinetica delle reazioni chimiche	246	<i>Approfondimento – Relazione tra la pressione massima e lo spostamento massimo di un'onda acustica 278</i>		
<i>Esercizi svolti, bibliografia e sitografia del capitolo</i>		6.17.1	L'impedenza acustica nella propagazione del suono	279
		6.17.2	La velocità di propagazione delle onde acustiche	279
		<i>Esempio 6.5 Un'onda acustica che si propaga dall'aria all'acqua 280</i>		
		6.17.3	L'intensità del suono	280
		<b>6.18</b>	Le onde stazionarie nei tubi	284
		<b>6.19</b>	I battimenti	285
		<b>6.20</b>	La dispersione	287
		<b>6.21</b>	L'effetto Doppler	288
		6.21.1	Sorgente in movimento, ricevitore fermo	289
		6.21.2	Sorgente ferma, ricevitore in movimento	290
		6.21.3	Sorgente e ricevitore in movimento	290
		<b>6.22</b>	Velocità di gruppo e velocità di fase di un pacchetto d'onde	291
		<b>6.23</b>	Fisica e biologia del sistema uditivo	292
		<i>Esempio 6.6 L'orecchio medio approssimato con una leva 295</i>		
		6.23.1	Come può l'orecchio essere sensibile e anche riconoscere le diverse frequenze presenti in un suono?	296
		<b>6.24</b>	Numeri complessi e rappresentazione dei fenomeni ondulatori	298
		<b>6.25</b>	Serie e trasformata di Fourier	301
<b>Capitolo 6</b>				
<b>Oscillazioni e onde meccaniche</b>	247			
<b>6.1</b> Le oscillazioni nel mondo biologico	248			
<b>6.2</b> Il prototipo di moto periodico: il moto di un corpo agganciato a una molla	249			
<b>6.3</b> L'energia associata a un moto oscillatorio	251			
<i>Esempio 6.1 La velocità di una massa agganciata a una molla 252</i>				
<b>6.4</b> Oscillazioni in presenza di attrito: le oscillazioni smorzate	252			

## 6.26 Tecniche spettroscopiche basate sulla trasformata di Fourier

*Esercizi svolti, bibliografia e sitografia del capitolo*

## Capitolo 7

### Statica dei fluidi

#### 7.1 I fluidi e la biologia

#### 7.2 Che cos'è un fluido?

#### 7.3 La pressione

#### 7.4 La legge di Stevino

##### 7.4.1 I paradossi dell'idrostatica

*Esempio 7.1 Due liquidi in un tubo a U 317 –*

*Esempio 7.2 La forza totale per resistere a un bacino d'acqua 319*

#### 7.5 Il principio dei vasi comunicanti

#### 7.6 La legge di Pascal

##### 7.6.1 La pressa idraulica

#### 7.7 Misura della pressione ed esperimento di Torricelli: il vuoto

*Esempio 7.3 La misura della pressione con il manometro 323 – Esempio 7.4 Il peso dell'aria 323*

#### 7.8 Il principio di Archimede e il galleggiamento

*Esempio 7.5 Attenti all'insidia 325 – Esempio 7.6 Come calcolare la densità di un corpo 325 – Esempio 7.7 È solo la punta dell'iceberg! 326 – Esempio 7.8 La bilancia idrostatica 327 – Esempio 7.9 Immergere completamente un corpo 328 – Esempio 7.10 La spinta di Archimede vale anche per i gas: la mongolfiera 328 – Esempio 7.11 Il capodoglio conosce la spinta di Archimede! 330*

#### 7.9 Un caso per l'unità CSI

*(Crime Scene Investigation) ante litteram*

#### 7.10 Alcune riflessioni sul principio di Archimede

*Esempio 7.12 Il comportamento delle proteine all'interno di una provetta 332*

*Esercizi svolti, bibliografia e sitografia del capitolo*

## Capitolo 8

### I fluidi in moto

#### 8.1 Muoversi in un fluido

#### 8.2 Un po' di storia della scienza relativa alla trattazione dei fluidi in moto

#### 8.3 L'equazione di continuità

*Esempio 8.1 Un flusso d'acqua sotto l'effetto della forza gravitazionale 338*

*Nota storica – Stratone di Lampsaco e la caduta dei gravi 339*

#### 8.4 L'equazione di Bernoulli

##### 8.4.1 Derivazione alternativa dell'equazione di Bernoulli

#### 8.5 Applicazioni dell'equazione di Bernoulli

*Esempio 8.2 Flusso e differenza di pressione 342 –*

*Esempio 8.3 Il tubo di Venturi 343 – Esempio 8.4*

*Il teorema di Torricelli 343 – Esempio 8.5 Il sifone 344*

*Nota storica – Torricelli vs Bernoulli 345*

306

#### 8.6 Come volano gli aeroplani

345

#### 8.7 La viscosità

345

#### 8.8 La matematica per la dinamica dei fluidi

346

#### 8.9 La viscosità dell'acqua e del citoplasma cellulare

346

#### 8.10 I fluidi reali: legge di Poiseuille e profilo delle velocità in un tubo di flusso

348

*Esempio 8.6 La differenza di pressione e la portata 351*

307

#### 8.11 Il numero di Reynolds

352

#### 8.12 La vita ai bassi numeri di Reynolds

354

8.12.1 Un modello quantitativo per il moto del flagello di un batterio

356

8.12.2 Il movimento ciliato

358

310

311

313

315

#### 8.13 Sedimentazione e centrifugazione

358

8.13.1 L'effetto della diffusione nel processo di sedimentazione

363

#### 8.14 La fisica della microfluidica

364

#### 8.15 Il flusso del sangue

367

8.15.1 La misurazione della pressione del sangue

368

319

319

320

320

*Esercizi svolti, bibliografia e sitografia del capitolo*

## Capitolo 9

### La tensione superficiale

369

#### 9.1 L'importanza dei fenomeni di tensione superficiale in biologia

370

#### 9.2 Cos'è la tensione superficiale?

371

#### 9.3 L'origine microscopica della tensione superficiale

374

#### 9.4 Coesione e adesione

377

#### 9.5 Misura della tensione superficiale

378

#### 9.6 I tensioattivi

380

9.6.1 I detergenti in biochimica

382

*Esempio 9.1 Determinare la CMC di un detergente 382*

#### 9.7 Il modello della membrana biologica

385

9.7.1 Il ruolo di Benjamin Franklin

385

9.7.2 Un esperimento semplice e decisivo

386

9.7.3 Conclusioni

388

333

#### 9.8 Le bolle di sapone

389

#### 9.9 Una camminata sull'acqua

389

*Esempio 9.2 Il massimo peso di un insetto per poter camminare sull'acqua 390*

334

#### 9.10 La legge di Laplace

391

9.10.1 La dimostrazione della legge di Laplace generale

392

*Esempio 9.3 La differenza di pressione per una bolla di sapone 394 – Esempio 9.4 Perché una bolla di sapone sembra salire verso l'alto? 394*

335

337

339

342

342

342

342

342

342

342

342

#### 9.11 Le applicazioni della legge di Laplace

395

9.11.1 Gonfiare un palloncino

396

9.11.2 Gli alveoli polmonari

397

9.11.3 Aspirazione di liposomi e cellule con micropipette

398

#### 9.12 L'angolo di contatto e l'equazione di Young

401

<b>9.13</b> La tensione superficiale e le cellule	402	10.11.2	La determinazione sperimentale dell'energia di attivazione	461
<i>Esempio 9.5 Una goccia d'acqua in equilibrio sul vetro di una finestra 405</i> – <i>Esempio 9.6 La bagnabilità delle foglie e l'effetto loto delle piante 405</i>		<i>Esempio 10.12</i>	$Q_{10}$ di canali ionici 462	
<b>9.14</b> La legge di Jurin	406	<i>Esercizi svolti, bibliografia e sitografia del capitolo</i>		
<i>Esempio 9.7 Lo xilema nelle piante 408</i> – <i>Esempio 9.8 La risalita dell'acqua in capillari di diverso raggio 408</i> – <i>Esempio 9.9 Un capillare di vetro e il mercurio 409</i>		<b>Capitolo 11</b>		
<b>9.15</b> Forze dovute ai fenomeni di capillarità	409	<b>Il primo principio della termodinamica</b> 463		
<i>Esercizi svolti, bibliografia e sitografia del capitolo</i>		<b>11.1</b>	Introduzione	464
<b>Capitolo 10</b>		<b>11.2</b>	Una revisione del concetto di lavoro	465
<b>Introduzione alla termodinamica</b>	411	11.2.1	Il diagramma p–V	468
<b>10.1</b> La termodinamica per la biologia	412	<b>11.3</b>	L'energia interna	469
<i>Nota storica – Mayer e il colore del sangue 413</i>		<i>Esempio 11.1</i>	Movimento microscopico e movimento macroscopico 472	
<b>10.2.</b> Introduzione al concetto di temperatura	414	<b>11.4</b>	Il primo principio della termodinamica: il principio di conservazione dell'energia	472
10.2.1 I termorecettori	415	<i>Approfondimento – I differenziali esatti e non esatti e la termodinamica 473</i>		
10.2.2 L'energia nelle cellule	416	<b>11.5</b>	L'energia interna di un gas perfetto nell'esperimento di Joule-Kelvin	473
<b>10.3</b> Alcune definizioni per un sistema termodinamico	416	<b>11.6</b>	La capacità termica: un approfondimento	475
<b>10.4</b> La temperatura e il principio zero della termodinamica	417	<b>11.7</b>	Capacità termiche molari di un gas perfetto ed energia interna	476
10.4.1 Le scale termometriche e la scala Kelvin	419	<b>11.8</b>	Alcune particolari trasformazioni dei gas perfetti	479
<b>10.5</b> Le variabili termodinamiche e gli stati di equilibrio	421	11.8.1	Trasformazione isoterma	480
<b>10.6</b> Il calore e l'equivalente meccanico del calore	423	11.8.2	Trasformazione isocora	481
<i>Esempio 10.1 L'energia meccanica dissipata nell'esperimento di Joule 426</i> – <i>Esempio 10.2 Il calore specifico di un materiale 428</i> – <i>Esempio 10.3 La capacità termica del calorimetro 429</i>		<i>Esempio 11.2</i>	Una trasformazione isocora 482	
<b>10.7</b> La storia del concetto di calore	429	11.8.3	Trasformazione isobara	482
<b>10.8</b> I gas perfetti	431	<i>Esempio 11.3</i>	Una trasformazione a pressione costante 483	
10.8.1 Le trasformazioni dei gas	431	<i>Esempio 11.4</i>	Tre diverse trasformazioni tra gli stessi punti iniziale e finale 484	
10.8.2 L'equazione di stato dei gas perfetti	435	<i>Esempio 11.5</i>	Il lavoro in una trasformazione ciclica 485	
<i>Esempio 10.4 Raffreddare un gas 437</i> – <i>Esempio 10.5 Il numero di molecole in un volume di gas 437</i> – <i>Esempio 10.6 Il peso molecolare di un gas 438</i>		11.8.4	Trasformazioni adiabatiche	486
<b>10.9</b> L'equazione di van der Waals	438	<i>Esempio 11.6</i>	Una trasformazione adiabatica 488	
<b>10.10</b> La teoria cinetica dei gas	441	<b>11.9</b>	Alcune considerazioni sulle trasformazioni reversibili	489
10.10.1 Introduzione	441	<b>11.10</b>	La funzione entalpia	492
10.10.2 Interpretazione molecolare della pressione e della temperatura	442	11.10.1	Entalpia e reazioni chimiche	494
<i>Esempio 10.7 La velocità media delle molecole di aria 445</i> – <i>Esempio 10.8 Un gas perfetto all'interno di un cubo 446</i> – <i>Esempio 10.9 Due gas diversi 447</i>		<b>11.11</b>	Il contenuto in energia del cibo	495
10.10.3 Equipartizione dell'energia	447	<b>11.12</b>	Le transizioni di fase	496
10.10.4 Il libero cammino medio	449	11.12.1	Introduzione e loro rilevanza in biologia	496
10.10.5 La distribuzione di Maxwell delle velocità in un gas	451	11.12.2	Transizioni di fase e diagramma di fase	500
<i>Esempio 10.10 Sfruttare la funzione di distribuzione delle velocità molecolari 454</i> – <i>Esempio 10.11 Il libero cammino medio e il tempo tra due urti successivi 457</i>		11.12.3	Equilibrio tra fasi diverse e calore latente	504
<b>10.11</b> La velocità delle molecole e la costante di velocità di una reazione chimica	458	<i>Esempio 11.7</i>	Il calore latente di fusione 505	
10.11.1 La formula di Arrhenius per la costante di velocità di reazione	459	<i>Esempio 11.8</i>	Il calore latente di fusione dell'alluminio 506	
<i>Nota storica – La legge di eponimia di Stigler 460</i>		<i>Esempio 11.9</i>	Un percorso attorno al punto critico 507	
		<i>Esempio 11.10</i>	Il calcolo del calore scambiato quando il calore specifico dipende dalla temperatura 508	
		<b>11.13</b>	L'isoterma di van der Waals	509
		<b>11.14</b>	Le tecniche calorimetriche per la biochimica	512
		11.14.1	Calorimetria differenziale a scansione	512
		11.14.2	Calorimetria di titolazione isoterma (ITC)	514
		<b>11.15</b>	Il trasporto del calore	517
		11.15.1	L'equazione della conduzione	518
		<i>Esercizi svolti, bibliografia e sitografia del capitolo</i>		

**Capitolo 12****Il secondo principio della termodinamica e l'energia libera**

<b>12.1</b> L'entropia e le energie libere in biologia	520
<b>12.2</b> Le macchine termiche e il ciclo di Carnot	522
<i>Esempio 12.1 Il rendimento di una macchina reversibile 525 – Esempio 12.2 Dal rendimento al lavoro prodotto da una macchina termica 526 –</i>	
<i>Esempio 12.3 Il calore ceduto in un ciclo di Carnot 526</i>	
<b>12.3</b> La funzione entropia	526
<b>12.4</b> La storia del concetto di entropia e il secondo principio della termodinamica	531
<b>12.5</b> Le diverse formulazioni del secondo principio della termodinamica	534
<b>12.6</b> L'entropia per i gas perfetti	536
<b>12.7</b> Il concetto di energia libera	537
12.7.1 L'energia libera di Helmholtz	539
12.7.2 L'energia libera di Gibbs	539
12.7.3 La dipendenza dell'energia libera dalla pressione e dalla temperatura	
<i>Esempio 12.4 Il diagramma di fase per le aggregazioni del carbonio 544</i>	
<b>12.8</b> Il potenziale chimico	545
<b>12.9</b> Alcune utili relazioni e uguaglianze termodinamiche	550
<b>12.10</b> Biologia ed entropia alla scala delle singole molecole biologiche	551
<b>12.11</b> Il cricchetto di Feynman	556
<b>12.12</b> Le transizioni di fase in termini di energia libera di una fase	558
12.12.1 <i>La classificazione delle transizioni di fase</i>	562
12.12.2 L'equazione di Clausius-Clapeyron	562
12.12.3 <i>La tangente comune</i>	563
<b>12.13</b> La termodinamica delle miscele binarie	563
<i>Esempio 12.5 Calcolo dell'entropia di miscelazione 567</i>	
12.13.1 <i>La regola della leva</i>	568
<b>12.14</b> L'energia libera associata alla denaturazione delle proteine	568

*Esercizi svolti, bibliografia e sitografia del capitolo*

**Capitolo 13****La meccanica statistica**

<b>13.1</b> I processi biologici analizzati con la meccanica statistica	571
<b>13.2</b> Breve storia della nascita della meccanica statistica	572
<i>Nota storica – La figura di Joseph Loschmidt 576</i>	
<b>13.3</b> Qualche importante formula di statistica	574
13.3.1 La statistica per l'interpretazione molecolare della termodinamica	578
13.3.2 Le approssimazioni per un numero elevato di particelle	583
13.3.3 Le distribuzioni di probabilità	584
<i>Esempio 13.1 La distribuzione di Gauss 586 – Esempio 13.2 Testa o croce 588</i>	

<b>13.4</b> La distribuzione di Boltzmann	589
13.4.1 Espansione di un gas	589
13.4.2 Microstati e macrostati	590
13.4.3 L'ipotesi ergodica	592
<i>Esempio 13.3 Il numero massimo di combinazioni 595</i>	
13.4.4 La relazione di Boltzmann dell'entropia statistica	597
<i>Approfondimento – La dimostrazione del fattore di proporzionalità coincidente con <math>k_B</math> 598</i>	
<i>Esempio 13.4 La distribuzione di Boltzmann per la concentrazione di molecole nel gas atmosferico 599</i>	
13.4.5 L'equivalenza tra entropia statistica ed entropia termodinamica	600
13.4.6 La funzione di partizione	602
13.4.7 Il potenziale chimico in presenza di un potenziale esterno	604
13.4.8 <i>Le fluttuazioni e la funzione di partizione</i>	605
<i>Esempio 13.5 Dalla molteplicità degli stati alla probabilità di occupazione dei livelli energetici 605</i>	
13.4.9 <i>Dal minimo per l'energia libera alla distribuzione di Boltzmann 606</i>	
<b>13.5</b> La meccanica statistica applicata ai sistemi biologici	606
13.5.1 L'applicazione della meccanica statistica ai canali ionici	607
13.5.2 L'applicazione della meccanica statistica al sistema recettore/ligando	609
<b>13.6</b> L'entropia delle miscele	613
<i>Esempio 13.6 La funzione variazione di energia libera per una miscela binaria 616</i>	

*Esercizi svolti, bibliografia e sitografia del capitolo*

**Capitolo 14****La meccanica dei corpi estesi deformabili**

<b>14.1</b> Introduzione alla reologia	617
<b>14.2</b> Un po' di storia della reologia	
<b>14.3</b> Alcune definizioni per partire	
<b>14.4</b> Le proprietà meccaniche di un mezzo e la velocità di propagazione del suono in esso	
<i>Esempio 14.1 La differenza tra le formule di Newton e quelle di Laplace</i>	
<b>14.5</b> Le proprietà elastiche di una sbarra	
<b>14.6</b> Le proprietà viscoelastiche	
14.6.1 Analogia basata su molle e dissipatori	
14.6.2 Modelli viscoelastici (Maxwell, Voigt, Kelvin, Burger)	
14.6.3 Analisi dinamica	
<i>Esempio 14.2 Il modello che descrive il comportamento di cellule in un esperimento di aspirazione con micropipette –</i>	
<i>Esempio 14.3 Un circuito meccanico stimolato a bassa e alta frequenza</i>	
<b>14.7</b> La viscoelasticità in biologia	
<b>14.8</b> Il modello a frizione molecolare	
<b>14.9</b> Il microscopio a forza atomica	
14.9.1 Il microscopio a forza atomica può misurare le proprietà meccaniche di campioni biologici	

*Esercizi svolti, bibliografia e sitografia del capitolo*

**Capitolo 15****Random walk e diffusione**

<b>15.1</b>	L'importanza delle fluttuazioni in biologia	620
<b>15.2</b>	L'eterna danza delle molecole e la fine della convinzione: « <i>Si muove, allora è vivo!</i> »	621
<b>15.3</b>	La misura della costante di Avogadro da parte di Perrin	622
<b>15.4</b>	Random walk in una e più dimensioni	624
<b>15.5</b>	L'equazione di Langevin	627
<b>15.6</b>	Cosa succede con il secondo principio della termodinamica?	628
<b>15.7</b>	Random walk nel caso dei polimeri biologici	630
<b>15.8</b>	Le leggi di Fick	634
	<i>Esempio 15.1 Una soluzione della seconda legge di Fick nel caso unidimensionale 636 – Esempio 15.2 La diffusione delle proteine 637 – Esempio 15.3 La diffusione all'interno di una cellula 637</i>	
<b>15.9</b>	La diffusione in presenza di una forza di deriva	638
<b>15.10</b>	La relazione di Einstein tra diffusione e viscosità	638
<b>15.11</b>	Esiste un modello matematico per descrivere la migrazione di cellule?	639
<b>15.12</b>	Tecniche per studiare la diffusione in sistemi biologici	643
	15.12.1 Recupero della fluorescenza dopo <i>photobleaching</i>	644
	15.12.2 Tracciamento di singola particella	645
<b>15.13</b>	I motori molecolari e i diagrammi di energia potenziale	648
<b>15.14</b>	L'osmosi	651
	15.14.1 L'equazione di van't Hoff	652
	<i>Nota storica – Einstein, l'osmosi e gli atomi 655</i>	
	<i>Esercizi svolti, bibliografia e sitografia del capitolo</i>	

**Capitolo 16****La carica elettrica e il campo elettrico**

<b>16.1</b>	L'elettricità in biologia	658
	<i>Nota storica – Un po' di storia delle interazioni elettriche 659</i>	
<b>16.2</b>	L'elettrizzazione degli oggetti	660
	<i>Esempio 16.1 L'equilibrio tra due cariche elettriche sotto l'effetto della forza peso 664</i>	
<b>16.3</b>	Il campo elettrico	666
<b>16.4</b>	Il dipolo elettrico	668
	16.4.1 Espressione generale per il campo elettrico a grande distanza da un dipolo	670
	<i>Esempio 16.2 Il momento di dipolo elettrico di una molecola d'acqua 672 – Esempio 16.3 Il momento di dipolo elettrico del legame peptidico 673 – Esempio 16.4 Il momento di dipolo elettrico associato con un'<math>\alpha</math>-elica 674</i>	
<b>16.5</b>	Il flusso del campo elettrico	675

<b>16.6</b>	Il teorema di Gauss	676
<b>16.7</b>	Il campo elettrico di distribuzioni simmetriche di carica elettrica	677
	16.7.1 Carica isolata: simmetria sferica	677
	16.7.2 Filo di lunghezza infinita uniformemente carico: simmetria cilindrica	678
	16.7.3 Superficie piana infinita uniformemente carica	679
	16.7.4 Campo elettrico tra due superfici infinite uniformemente cariche	681
	16.7.5 Campo elettrico prodotto da una densità di carica su una lamina rettangolare infinita di spessore $h$	681
	<i>Esempio 16.5 Un pendolo elettricamente carico all'interno di un condensatore a facce piane e parallele 682 – Esempio 16.6 Il campo elettrico di una sfera isolante uniformemente carica 683 – Esempio 16.7 Il campo elettrico prodotto da un guscio sferico 684</i>	
<b>16.8</b>	Il moto di particelle cariche in un campo uniforme	685
<b>16.9</b>	Il campo elettrico per un conduttore in equilibrio	686
<b>16.10</b>	L'energia potenziale elettrica e il potenziale elettrico	686
<b>16.11</b>	Energia potenziale e potenziale elettrostatico di una carica	688
	16.11.1 Il potenziale elettrico di un conduttore	690
<b>16.12</b>	La schermatura elettrica e la gabbia di Faraday	691
<b>16.13</b>	L'energia potenziale di una configurazione di cariche elettriche	692
	<i>Esempio 16.8 L'energia potenziale elettrica per una configurazione di quattro cariche 693 – Esempio 16.9 La stabilità tra più di due cariche elettriche 693 – Esempio 16.10 Equilibrio di una carica con due cariche di segno opposto 693</i>	
<b>16.14</b>	La forza di Coulomb e la stabilità dei cristalli ionici	693
<b>16.15</b>	Superfici equipotenziali	694
<b>16.16</b>	La relazione tra campo elettrico e potenziale elettrico	694
<b>16.17</b>	Il potenziale elettrico di un dipolo	695
<b>16.18</b>	Il potenziale elettrico e l'impollinazione: l'elettricità per la vita	696
<b>16.19</b>	Le onde di potenziale elettrico nel corpo umano	697
<b>16.20</b>	L'equazione di Poisson	700
	<i>Esempio 16.11 L'utilizzo dell'equazione di Laplace 700</i>	
<b>16.21</b>	L'energia potenziale di un dipolo in un campo elettrico	700
<b>16.22</b>	La capacità elettrica	701
	16.22.1 Condensatore a facce piane e parallele	702
	16.22.2 Condensatore cilindrico	703
	16.22.3 Condensatore sferico	704
<b>16.23</b>	L'energia immagazzinata in un condensatore	705
	16.23.1 La forza tra le armature di un condensatore	706
	<i>Esempio 16.12 La forza tra le facce di un condensatore 707</i>	

<b>16.24</b> Il condensatore con dielettrico	708
16.24.1 Il vettore spostamento elettrico	710
<b>16.25</b> La fisica dell'elettroporazione cellulare	712
<b>16.26</b> Il collegamento di condensatori in serie e in parallelo	715
<i>Esempio 16.13 Condensatori in serie e in parallelo</i> 717	
– <i>Esempio 16.14 Un condensatore con un dielettrico al suo interno</i> 717 – <i>Esempio 16.15 Inserire un dielettrico in un condensatore carico</i> 718	

*Esercizi svolti, bibliografia e sitografia del capitolo*

## Capitolo 17

### Le correnti elettriche

<b>17.1</b> Un flusso di cariche elettriche genera una corrente elettrica	719
<b>17.2</b> La definizione di corrente elettrica	720
<b>17.3</b> L'interpretazione microscopica della corrente elettrica	721
<b>17.4</b> Le leggi di Ohm	722
<i>Esempio 17.1 Un po' di stime</i> 726 – <i>Esempio 17.2 Non tutti i conduttori sono ohmici</i> 728	725
<b>17.5</b> Un accenno alle moderne teorie per la conduzione elettrica nei conduttori	729
<b>17.6</b> Resistenze in serie e in parallelo	729
17.6.1 Resistenze in serie	730
17.6.2 Resistenze in parallelo	731
<i>Esempio 17.3 Resistenza equivalente</i> 732 – <i>Esempio 17.4 Resistenze in serie e in parallelo</i> 732	
<b>17.7</b> L'effetto Joule: la potenza dissipata	732
<i>Esempio 17.5 Massimizzare la dissipazione</i> 733	
<b>17.8</b> La pila di Volta: un po' di storia	734
<b>17.9</b> La batteria	736
<i>Esempio 17.6 Il potenziale di una cella con elettrodo di zinco</i> 738	
17.9.1 La pila Daniell 738	
<b>17.10</b> Circuiti elettrici in corrente continua	738
17.10.1 Le leggi di Kirchhoff per i circuiti elettrici	739
<i>Esempio 17.7 Le leggi di Kirchhoff</i> 740 – <i>Esempio 17.8 Un circuito con tre maglie indipendenti</i> 740	
<b>17.11</b> Carica e scarica di un condensatore in un circuito RC	741
17.11.1 Processo di carica	741
<i>Approfondimento – Il processo di carica di un condensatore</i> 742	
17.11.2 Processo di scarica	743
<i>Esempio 17.9 La carica di un condensatore</i> 746 – <i>Esempio 17.10 La scarica di un condensatore</i> 746	
<b>17.12</b> Le correnti in soluzione	747
17.12.1 La conducibilità delle soluzioni elettrolitiche	747
<b>17.13</b> Elettrolisi e leggi di Faraday	747
<b>17.14</b> Gli effetti della corrente sul corpo umano	748

*Esercizi svolti, bibliografia e sitografia del capitolo*

## Capitolo 18

### Il campo elettrico in soluzione e l'elettricità nei sistemi biologici

<b>18.1</b> In biologia il campo elettrico rilevante è quello che si ha in soluzione acquosa	749
<b>18.2</b> La molecola dell'acqua	750
18.2.1 L'acqua come dielettrico	751
<b>18.3</b> L'energia di Born	752
<b>18.4</b> Le interazioni che stabilizzano le molecole biologiche	754
18.4.1 Il legame a idrogeno	756
18.4.2 Le interazioni idrofobiche	757
<b>18.5</b> Le forze intermolecolari in soluzione	758
<i>Approfondimento – Dimostrazione dello sviluppo in multipoli per una distribuzione di cariche</i> 759	
<b>18.6</b> Interazioni tra dipoli e cariche elettriche	758
<b>18.7</b> Le forze di van der Waals	760
18.7.1 L'interazione tra due dipoli permanenti (interazione di Keesom)	762
18.7.2 L'interazione di un dipolo permanente con un dipolo indotto (interazione di Debye)	763
18.7.3 L'interazione tra due dipoli transienti (interazione di London o di dispersione)	764
18.7.4 Sintesi delle interazioni di van der Waals	765
<i>Esempio 18.1 Le forze di van der Waals e i gechi</i> 766	
<b>18.8</b> Il campo elettrico prodotto da superfici cariche in soluzione	767
18.8.1 La struttura del doppio strato diffuso	770
<i>Esempio 18.2 La condensazione del DNA</i> 771 – <i>Esempio 18.3 L'effetto della forza ionica della soluzione sulle reazioni enzimatiche</i> 772 –	
<b>18.9</b> L'equazione di Nernst per la distribuzione degli ioni	773
<i>Esempio 18.4 Il potenziale attraverso una membrana dell'assone gigante del calamaro</i> 776 – <i>Esempio 18.5 I potenziali di transmembrana</i> 777	
<b>18.10</b> La membrana biologica come elemento di un circuito elettrico	777
<b>18.11</b> Il potenziale elettrico attraverso la membrana biologica	782
<b>18.12</b> I canali ionici dipendenti dalla differenza di potenziale attraverso la membrana	783
<b>18.13</b> Il potenziale d'azione e la sua propagazione	785
<i>Nota storica – La controversia Galvani-Volta</i> 789	
<b>18.14</b> Le tecniche di elettrofisiologia per lo studio dei canali ionici	789
<b>18.15</b> L'elettroforesi	789
18.15.1 L'elettroforesi del DNA	794
18.15.2 L'elettroforesi delle proteine	796
<b>18.16</b> Il modello di conduzione a cavo per l'assone e l'equazione del telegrafo	796
<b>18.17</b> L'equazione del cavo	796

*Esercizi svolti, bibliografia e sitografia del capitolo*

**Capitolo 19****Il campo magnetico**

	797
<b>19.1</b> Il campo magnetico e la sua rilevanza per i sistemi biologici	798
<b>19.2</b> Il campo magnetico: introduzione	799
<b>19.3</b> La definizione di campo magnetico: la forza di Lorentz	801
<b>19.4</b> Il moto di una particella carica all'interno di campi magnetici uniformi	803
<i>Esempio 19.1 Calcolo del passo del moto elicoidale di una carica elettrica in un campo magnetico uniforme 804</i>	
<b>19.4.1</b> Il selettore di velocità e lo spettrometro di massa	805
<i>Esempio 19.2 Come trovare il numero di neutroni in un isotopo 807 – Esempio 19.3 Un fascio di ossigeno ionizzato 807 – Esempio 19.4 Le lenti di un microscopio elettronico 808</i>	
<b>19.4.2</b> Il microscopio elettronico	810
<b>19.5</b> La forza su un filo percorso da corrente posto all'interno di un campo magnetico	812
<b>19.6</b> Una spira percorsa da corrente all'interno di un campo magnetico	814
<b>19.7</b> All'interno di un campo magnetico non uniforme	817
<b>19.8</b> La quantizzazione del momento angolare e lo spin dell'elettrone	819
<b>19.9</b> Il campo magnetico generato da un filo percorso da corrente	821
<i>Esempio 19.5 Il campo magnetico prodotto da due fili percorsi da corrente 823</i>	
<b>19.9.1</b> Il campo magnetico generato da una spira percorsa da corrente	824
<b>19.10</b> L'interazione tra due fili percorsi da corrente	826
<b>19.11</b> Il teorema di Ampère	827
<b>19.11.1</b> Il campo magnetico di un solenoide	829
<i>Esempio 19.6 Le spire di un solenoide 830 – Esempio 19.7 Il campo magnetico prodotto da un avvolgimento toroidale 830</i>	
<b>19.12</b> Il campo magnetico e i sistemi di riferimento in moto relativo	831
<b>19.13</b> La magnetoricezione negli animali	831
<b>19.14</b> I fenomeni elettrici e magnetici per la diagnostica medica	836
<i>Esercizi svolti, bibliografia e sitografia del capitolo</i>	

**Capitolo 20****L'induzione elettromagnetica e le correnti alternate**

	839
<b>20.1</b> L'effetto del flusso di un campo magnetico variabile nel tempo	840
<b>20.2</b> L'induzione elettromagnetica e la legge di Faraday	841
<i>Esempio 20.1 Una spira circolare in un campo magnetico variabile 843 – Esempio 20.2 La forza</i>	

<i>elettromotrice indotta in una spira in movimento 844 – Esempio 20.3 Una spira elastica conduttrice 845</i>	
<b>20.2.1</b> Gli alternatori	846
<b>20.3</b> La legge di Lenz	847
<i>Esempio 20.4 Una forza elettromotrice indotta in una spira ruotante 848 – Esempio 20.5 Una spira all'interno di un solenoide 849</i>	
<b>20.4</b> La differenza di potenziale ai capi di un conduttore in moto in un campo magnetico	849
<i>Esempio 20.6 Rallentare con un campo magnetico 851 – Esempio 20.7 Una sbarra conduttrice in caduta all'Equatore 852 – Esempio 20.8 La differenza di potenziale sulle ali di un aereo 852 – Esempio 20.9 Una sbarra conduttrice in rotazione 853</i>	
<b>20.5</b> Il fenomeno dell'autoinduzione e l'induttanza	853
<b>20.5.1</b> L'induttanza di un solenoide	855
<i>Esempio 20.10 L'autoinduzione in un circuito 855</i>	
<b>20.5.2</b> L'energia in un campo magnetico	856
<b>20.5.3</b> Un circuito <i>RL</i> in corrente continua	857
<b>20.5.4</b> I circuiti <i>LC</i>	858
<b>20.5.5</b> Il circuito <i>RLC</i> in serie	860
<i>Esempio 20.11 Oscillazioni libere del circuito <i>RLC</i> in serie 861</i>	
<b>20.6</b> La risonanza magnetica nucleare	862
<i>Approfondimento – Perché la frequenza di precessione coincide con la frequenza assorbita dai nuclei? 869</i>	
<i>Approfondimento – Il sistema di riferimento rotante 870</i>	
<i>Esempio 20.12 Il valore di frequenza del fotone assorbito da un nucleo <sup>1</sup>H 871</i>	
<b>20.6.1</b> La risonanza magnetica nucleare come strumento spettroscopico	871
<b>20.6.2</b> Imaging con NMR	872
<b>20.7</b> Le correnti elettriche alternate	874
<b>20.7.1</b> Il circuito <i>RLC</i>	878
<b>20.7.2</b> Il circuito risonante <i>RLC</i>	878
<b>20.7.3</b> Il valore efficace	878
<b>20.7.4</b> Il trasformatore	878
<b>20.7.5</b> Le correnti elettriche alternate trattate con i numeri complessi	878
<i>Esempio 20.13 Il circuito di selezione di un canale in una radio 878</i>	
<b>20.8</b> Analogia tra circuiti elettrici meccanici e acustici	878
<i>Esercizi svolti, bibliografia e sitografia del capitolo</i>	

**Capitolo 21****Il campo elettromagnetico secondo Maxwell**

	879
<b>21.1</b> Introduzione storica	880
<b>21.2</b> La corrente di spostamento	883
<b>21.3</b> Gradiente di un campo scalare, rotore e divergenza di un campo vettoriale	885
<b>21.4</b> Le equazioni di Maxwell	885

21.4.1	Prima equazione di Maxwell	885	22.7.2	Specchi concavi	942
21.4.2	Seconda equazione di Maxwell	886	22.7.3	<b>Specchi curvi</b>	945
21.4.3	Terza equazione di Maxwell	887	<i>Esempio 22.7 Un oggetto posto tra uno specchio concavo e il suo fuoco 945 – Esempio 22.8 Un oggetto posizionato tra il centro di curvatura e il fuoco di uno specchio concavo 946 – Esempio 22.9 L'immagine formata da uno specchio concavo 946</i>		
21.4.4	Quarta equazione di Maxwell	887	22.7.4	Specchi convessi	947
<b>21.5</b>	<b>Dalle equazioni di Maxwell alle onde elettromagnetiche</b>	888	<i>Esempio 22.10 Il raggio di curvatura di uno specchio convesso 948 – Esempio 22.11 L'immagine prodotta da uno specchio convesso 948</i>		
<i>Esempio 21.1 Verifichiamo che la quantità <math>\frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}</math> ha le dimensioni di una velocità 891</i>			<b>22.8</b>	<b>Il diotetro sferico</b>	949
<b>21.6</b>	<b>Le proprietà delle onde elettromagnetiche</b>	892	<i>Esempio 22.12 L'ingrandimento trasversale di un diotetro sferico 951</i>		
<i>Esempio 21.2 Qual è la direzione del campo magnetico rispetto alla direzione del campo elettrico per un'onda elettromagnetica? 894</i>			<b>22.9</b>	<b>Sistemi ottici centrati ed equazione dei costruttori di lenti</b>	954
21.6.1	Energia trasportata da un'onda elettromagnetica e sua quantità di moto	895	<b>22.10</b>	<b>Lenti sottili</b>	955
<b>21.7</b>	<b>Il vettore di Poynting</b>	896	22.10.1	Lenti convergenti	958
21.7.1	La pressione di radiazione	897	22.10.2	L'ingrandimento prodotto da una lente	960
<i>Esempio 21.3 La pressione di radiazione e la coda delle comete 898</i>			<i>Esempio 22.13 La formazione di un'immagine con una lente convergente 961</i>		
<b>21.8</b>	<b>Le pinze ottiche</b>	899	22.10.3	Raggi obliqui rispetto all'asse ottico	962
<b>21.9</b>	<b>La radiazione emessa da una carica elettrica accelerata</b>	902	22.10.4	Lenti divergenti	962
<b>21.10</b>	<b>La produzione di onde elettromagnetiche</b>	904	<i>Esempio 22.14 La formazione di un'immagine con una lente divergente 964</i>		
<i>Esempio 21.4 Dall'intensità al valore del campo elettrico 907</i>			<i>Esercizi svolti, bibliografia e sitografia del capitolo</i>		
<b>21.11</b>	<b>L'esperimento di Hertz</b>	907			
<b>21.12</b>	<b>Lo spettro delle onde elettromagnetiche</b>	911			

## Capitolo 22

### Optica geometrica

<b>22.1</b>	La luce e la materia	917	<b>23.1</b>	La natura ondulatoria della luce	966
<b>22.2</b>	I raggi dell'ottica geometrica	918	<b>23.2</b>	L'esperimento di Young della doppia fenditura	967
<b>22.3</b>	La riflessione	919	<i>Esempio 23.1 Misurare la lunghezza d'onda di una radiazione con l'esperimento di Young 971</i>		
22.3.1	Il principio di Fermat	921	23.2.1	L'intensità luminosa delle bande di interferenza	971
<i>Esempio 22.1 La riflessione e l'acustica 922</i>			23.2.2	L'interferenza prodotta da tre o più fenditure	972
<i>Nota storica – La riflessione secondo Erone di Alessandria 923</i>			<b>23.3</b>	<b>L'interferenza da lamine sottili</b>	972
<b>22.4</b>	<b>La rifrazione: l'indice di rifrazione</b>	923	23.3.1	Ricoprimenti antiriflesso	974
22.4.1	Il principio di Fermat per la rifrazione della luce	926	<i>Esempio 23.2 Uno strato di olio sull'acqua 976 – Esempio 23.3 Un ricoprimento antiriflesso 976 – Esempio 23.4 Una lamina d'acqua sempre più sottile 977</i>		
22.4.2	La rifrazione della luce spiegata con il principio di Huygens	927	23.3.2	Interferenza di strati multipli	978
<i>Esempio 22.2 La rifrazione attraverso una lamina a facce piane e parallele 928 – Esempio 22.3 La profondità apparente 929 – Esempio 22.4 La rifrazione della luce nell'atmosfera al tramonto 930</i>			23.3.3	<i>Black lipid membranes</i> e interferenza da lamina sottile	978
<b>22.5</b>	<b>La riflessione interna totale</b>	930	<i>Esempio 23.5 Il calcolo dello spessore di una lamina d'acqua saponata 979 – Esempio 23.6 L'interferenza da un cono d'aria 980 – Esempio 23.7 Calcolo delle condizioni per l'interferenza costruttiva e distruttiva per gli anelli di Newton in riflessione 981</i>		
22.5.1	Le fibre ottiche	932	<b>23.4</b>	<b>La polarizzazione della luce</b>	981
<i>Esempio 22.5 Il calcolo dell'angolo limite di accettazione per i raggi che entrano in una fibra ottica 933</i>			23.4.1	La legge di Malus	983
<b>22.6</b>	<b>Il prisma e la dispersione della luce</b>	934	<i>Esempio 23.8 La dimostrazione della legge di Malus 984 – Esempio 23.9 L'intensità del campo elettrico dopo un polarizzatore 984</i>		
<i>Nota storica – L'Experimentum crucis di Newton 936</i>			23.4.2	Polarizzazione per riflessione	985
22.6.1	L'arcobaleno	937	23.4.3	Polarizzazione per diffusione	986
<b>22.7</b>	<b>Immagini formate dagli specchi</b>	939	23.4.4	Birifrangenza e polarizzazione per birifrangenza	987
22.7.1	Specchi piani	941			
<i>Esempio 22.6 Due specchi piani 941</i>					

## Capitolo 23

### Optica ondulatoria

<b>23.1</b>	La natura ondulatoria della luce	966
<b>23.2</b>	L'esperimento di Young della doppia fenditura	967
<i>Esempio 23.1 Misurare la lunghezza d'onda di una radiazione con l'esperimento di Young 971</i>		
23.2.1	L'intensità luminosa delle bande di interferenza	971
23.2.2	L'interferenza prodotta da tre o più fenditure	972
<b>23.3</b>	<b>L'interferenza da lamine sottili</b>	972
23.3.1	Ricoprimenti antiriflesso	974
<i>Esempio 23.2 Uno strato di olio sull'acqua 976 – Esempio 23.3 Un ricoprimento antiriflesso 976 – Esempio 23.4 Una lamina d'acqua sempre più sottile 977</i>		
23.3.2	Interferenza di strati multipli	978
23.3.3	<i>Black lipid membranes</i> e interferenza da lamina sottile	978
<i>Esempio 23.5 Il calcolo dello spessore di una lamina d'acqua saponata 979 – Esempio 23.6 L'interferenza da un cono d'aria 980 – Esempio 23.7 Calcolo delle condizioni per l'interferenza costruttiva e distruttiva per gli anelli di Newton in riflessione 981</i>		
<b>23.4</b>	<b>La polarizzazione della luce</b>	981
23.4.1	La legge di Malus	983
<i>Esempio 23.8 La dimostrazione della legge di Malus 984 – Esempio 23.9 L'intensità del campo elettrico dopo un polarizzatore 984</i>		
23.4.2	Polarizzazione per riflessione	985
23.4.3	Polarizzazione per diffusione	986
23.4.4	Birifrangenza e polarizzazione per birifrangenza	987

23.4.5 Polarizzatore circolare	990
23.4.6 Prisma di Wollaston	991
23.4.7 L'occhio degli insetti e di altri animali e la polarizzazione della luce	992
<b>23.5 I coefficienti di Fresnel</b>	994
<i>Esempio 23.10 Calcolo dell'angolo di Brewster 994 –</i>	
<i>Esempio 23.11 Incidenza quasi normale 994</i>	
<b>23.6 La diffrazione</b>	994
23.6.1 Diffrazione da apertura circolare	997
23.6.2 Il reticolo di diffrazione 1000	
<i>Esempio 23.12 Il reticolo di diffrazione 1000</i>	
23.6.3 Il monocromatore	1000
23.6.4 Condizioni di Laue e legge di Bragg	1000
23.6.5 La doppia elica del DNA	1003
<b>23.7 La colorazione strutturata degli animali</b>	1005
23.7.1 La fisica del camaleonte	1006

*Esercizi svolti, bibliografia e sitografia del capitolo*

## Capitolo 24

### Gli strumenti ottici

<b>24.1</b> Gli strumenti ottici e la biologia	1010
<b>24.2</b> Breve storia del microscopio ottico in biologia e medicina	1011
<b>24.3</b> La lente d'ingrandimento	1014
<b>24.4</b> La combinazione di lenti	1015
<i>Esempio 24.1 La combinazione di due lenti convergenti 1016 –</i>	
<i>Esempio 24.2 La combinazione di una lente convergente con una divergente 1017 –</i>	
<i>Esempio 24.3 Un fascio di luce parallelo 1018</i>	
<b>24.5</b> Il microscopio ottico composto	1019
<b>24.6</b> La profondità di campo e di fuoco	1020
<b>24.7</b> Aberrazioni delle lenti	1021
24.7.1 Aberrazione sferica	1022
24.7.2 Aberrazione cromatica	1023
<i>Esempio 24.4 La lunghezza focale di un sistema di due lenti 1024</i>	
24.7.3 La correzione dell'aberrazione cromatica	1026
24.7.4 L'astigmatismo	1028
24.7.5 La coma	1028
<b>24.8</b> La teoria di Abbe e la risoluzione in microscopia ottica	1030
<b>24.9</b> Specifiche tecniche di una lente obiettivo	1035
<b>24.10</b> L'illuminazione in un microscopio ottico	1036
<b>24.11</b> Il contrasto di fase e di interferenza differenziale in microscopia ottica	1037
24.11.1 Il contrasto di fase	1038
24.11.2 Il contrasto di interferenza differenziale	1040
<b>24.12</b> La fisica dell'occhio	1042
<b>24.13</b> Modelli ottici dell'occhio	1044
24.13.1 Le lenti spesse	1045
24.13.2 Il potere rifrangente di una lente spessa e le formule per la determinazione della posizione dei piani principali	1047
24.13.3 La vergenza e il modello dell'occhio	1047

*Esempio 24.5 Calcolo della vergenza per un fascio che passa attraverso una combinazione di dispositivi ottici 1047 –*

*Esempio 24.6 Una superficie rifrangente piana trattata con il metodo della vergenza 1047*

<b>24.14</b> Difetti della vista	1047
<b>24.15</b> Biofisica e fisiologia del sistema visivo	1050
24.15.1 La visione a colori	1051
24.15.2 L'acutezza visiva	1054
<i>Esempio 24.7 La risoluzione dell'occhio umano 1055</i>	
<b>24.16</b> Il microscopio a fluorescenza	1056
<b>24.17</b> Il microscopio confocale	1057
<b>24.18</b> La microscopia a super-risoluzione	1058

*Esercizi svolti, bibliografia e sitografia del capitolo*

## Capitolo 25

### Introduzione alla meccanica quantistica

1061

<b>25.1</b> La meccanica quantistica e la biologia	
<b>25.2</b> La radiazione di corpo nero	
<b>25.3</b> L'effetto fotoelettrico e l'effetto Compton	
<i>Esempio 25.1 L'effetto fotoelettrico da una superficie di argento –</i>	
<i>Esempio 25.2 La corrente di fotoelettroni –</i>	
<i>Esempio 25.3 L'urto tra un fotone e un elettrone</i>	
<b>25.4</b> L'ipotesi di de Broglie: la simmetria tra fotoni e particelle	
<i>Esempio 25.4 La lunghezza d'onda associata a un elettrone in moto –</i>	
<i>Esempio 25.5 La lunghezza d'onda di un elettrone e di un protone</i>	
<b>25.5</b> L'ipotesi di de Broglie e l'atomo di Bohr	
<b>25.6</b> Il dualismo onda corpuscolo per gli elettroni: l'esperimento più bello della fisica	
<i>Esempio 25.6 L'esperimento della doppia fenditura in numeri</i>	
<b>25.7</b> Il formalismo delle onde per le particelle e il principio di indeterminazione di Heisenberg	
<b>25.8</b> L'equazione di Schrödinger	
25.8.1 La particella libera	
25.8.2 La particella in una buca di energia potenziale	
25.8.3 Un gradino di energia potenziale di altezza finita	
25.8.4 Una buca di energia potenziale di altezza finita	
25.8.5 Una barriera di energia potenziale di altezza finita: il microscopio a effetto tunnel	
25.8.6 L'oscillatore armonico quantistico	
<b>25.9</b> L'atomo di idrogeno e i numeri quantici	
<b>25.10</b> La meccanica quantistica per la fotosintesi	
25.10.1 Breve descrizione del processo di fotosintesi	
25.10.2 Gli aspetti quantistici della fotosintesi	
<b>25.11</b> La fisica del nucleo	
<i>Nota storica – Rutherford e la scoperta del nucleo atomico</i>	
25.11.1 I decadimenti radioattivi	
25.11.2 La legge del decadimento radioattivo	

*Esercizi svolti, bibliografia e sitografia del capitolo*

Indice analitico e Crediti

1063