

**CHIMICA
E BIOCHIMICA**
PER LE LAUREE TRIENNALI
DELL'AREA BIOMEDICA

Seconda Edizione

Dello Stesso Editore:

Alessio/Franco/Tomei – Trattato di medicina del lavoro

Antonelli Incalzi – Medicina interna per scienze infermieristiche

Arienti – Un compendio di biochimica per le lauree triennali

Atkinson/Hilgard – Introduzione alla psicologia

Bisconti – Atlante di pneumologia e di terapia intensiva respiratoria

Boari – Emocromo: guida all'interpretazione ragionata

Carnevale/D'Ovidio – La professione dell'infermiere

Chiappino/Nicoli – L'infermiere del lavoro e il primo soccorso in fabbrica

Chiaranda – Guida illustrata delle emergenze (con CD multimediale)

Chiaranda – Urgenze ed emergenze. Istituzioni

Ciaramella – Soccorso di base. Nozioni e tecniche

Dancey/Reidy/Rowe – Statistica per le scienze mediche. Un approccio matematico

Del Gobbo – Immunologia ed immunoematologia per i CDU

Dolce/Sazbon – Coma e stato vegetativo (con CD ROM)

Drigo/Verlato/Ferrante/Chiandetti – Il silenzio non è d'oro

Fogari – Semeiotica medica per le professioni sanitarie

Fradà/Fradà – Semeiotica medica. Nell'adulto e nell'anziano

Furlan – Etica professionale per infermieri

Furlanut – Farmacologia generale e clinica per le lauree triennali

Ganong/Barrett/Barman/Boitano/Brooks – Fisiologia medica di Ganong

Gilman/Newman – Neuroanatomia e neurofisiologia

Imbasciati/Margiotta – Psicologia clinica perinatale

Kamal – 1000 problemi svolti in fisica classica

Katzung/Masters/Trevor – Farmacologia generale e clinica

Katzung/Trevor – Farmacologia: quesiti a scelta multipla e compendio della materia

Laposata – Medicina di laboratorio. La diagnosi di malattia nel laboratorio clinico

Leininger – Diversità e universalità dell'assistenza culturale. Una teoria del nursing

Lewis – Genetica umana. Concetti e applicazioni

Lise – Chirurgia per le professioni sanitarie (2 voll.)

Locci/Locci – Elementi di diritto amministrativo e principi di legislazione sociale e sanitaria

Mader – Biologia: l'essenziale

Manuale di segni e sintomi

McKinley/O'Loughlin – Anatomia umana

McKinley/O'Loughlin/Stouter Bidle – Anatomia e fisiologia. Un approccio integrativo

McNabb – Iniezione e aspirazione dei tessuti molli e delle articolazioni

Mezzogiorno & Mezzogiorno – Compendio di anatomia umana (per i corsi annuali e per i diplomi universitari)

Midrio – Compendio di fisiologia umana. Per i corsi di laurea in professioni sanitarie

Mitello/Di Lazzaro/D'Anella/Abatini – Vademecum dei test per OSS e OSSS

Montalti/Nicolo/Raffaelli – L'infermieristica del dolore

Natoli – Pedagogia per le lauree sanitarie

Nettina – Il manuale dell'infermiere

Nettina – Vademecum dell'infermiere

Panizzi - Il manuale dell'OSS

Pontieri – Patologia e fisiopatologia generale per i corsi di laurea in professioni sanitarie

Raimondi/Lucas – Manuale di scienza dell'alimentazione e dietetica per infermieri professionali e operatori sanitari

Raven/Johnson/Mason/Losos/Singer – Biologia

Regueiro Gonzalez e coll. – Immunologia. Biologia e patologia del sistema immunitario

Roccella – Neuropsichiatria infantile

Rosa/Bilotta – Argomenti di anestesia e rianimazione per le professioni sanitarie

Russo/Fadini – Manuale di rapido apprendimento per l'interpretazione dell'elettrocardiogramma

Saladin – Anatomia e fisiologia

Saladin – Anatomia umana

Segni e Sintomi

Sherwood – Fondamenti di fisiologia umana

Sirchia – Spunti per una sanità migliore

Tatarelli – Manuale di psichiatria per infermieri

Testoni – Dopo la notizia peggiore. Elaborazione del morire nella relazione

Tinti – Biochimica e biologia molecolare

Tinti – Microbiologia con tecniche ed esercitazioni di laboratorio (2 voll.)

Tiranti – Elementi di psicologia per infermieri professionali e operatori sanitari

Trabucchi/Segala – L'assistenza nel disagio psichico

MICHELE SAMAJA – RITA PARONI

*Docenti di Biochimica, Biochimica Clinica
e Biologia Molecolare Clinica
Università degli Studi di Milano*

**CHIMICA
E BIOCHIMICA
PER LE LAUREE TRIENNALI
DELL'AREA BIOMEDICA**

Seconda Edizione

PICCIN

OPERA COPERTA DAL DIRITTO D'AUTORE
TUTTI I DIRITTI SONO RISERVATI

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 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.

ISBN 978-88-299-2877-4

Illustrazioni: collaborazione grafica di Marco Marzola

Stampato in Italia

Copyright © 2018, by Piccin Nuova Libreria S.p.A., Padova
www.piccin.it

*“La Natura non può essere ricondotta ad entità fondamentali,
concepita come mattoni elementari della materia,
ma deve essere intesa completamente
attraverso la propria coerenza interna.
L’universo materiale è visto come
tessuto dinamico di eventi interconnessi.
Nessuna delle proprietà di nessuna parte di questo tessuto
è fondamentale; esse seguono tutte
dalle proprietà delle altre parti,
e la struttura dell’intero tessuto è determinata
dalla loro coerenza complessiva
dei loro rapporti reciproci.”*
Fritjof Capra, 1988

La scienza non serve che a darci un’idea di quanto sia vasta la nostra ignoranza.
Félicité-Robert de Lamennais

RINGRAZIAMENTI

Michele Samaja

Questo libro vede la luce grazie al continuo, affettuoso e fermo incoraggiamento di Ilaria, impareggiabile collaboratrice, e ai suoi preziosissimi consigli. Martina ha dato un significato speciale a tutto ciò.

Rita Paroni

Dedico questo libro ai miei genitori che mi hanno insegnato tutto ciò che è veramente importante conoscere nella vita.

Gli autori delle fotografie pubblicate nel testo sono: Michele Samaja, Martina Samaja, Ilaria Vannini Parenti, Elena Magni e Corrado Paroni. Le foto della copertina sono di Michele Samaja e di Elena Magni.

Prefazione

Questo libro origina dal “Corso di Biochimica per le Lauree Triennali di Area Sanitaria” edito da Piccin. Come il precedente, anche questo è destinato agli Studenti che affrontano lo studio della Biochimica per la maggior parte delle Lauree Triennali di Area Biomedica. Pur restando un cardine insostituibile della formazione del nuovo laureato, l’insegnamento della Biochimica si è tuttavia evoluto rispetto a quando vide la luce la prima edizione del “Corso”. Per esempio, in numerosi ordinamenti didattici delle Lauree Triennali il corso di Biochimica è stato ampliato ed ora spesso comprende anche quello di Chimica. Per questo motivo, abbiamo voluto aggiungere due capitoli dedicati esclusivamente alla Chimica, che possano servire come Chimica e Propedeutica Biochimica. Ma confidiamo che lo sforzo effettuato per sintetizzare in maniera comprensibile una materia vasta come la Chimica serva anche come semplice punto di appoggio per quelle nozioni di Biochimica che facevano affidamento su conoscenze di Chimica talora mancanti. Questa scelta è stata supportata dall’osservazione che spesso gli studenti che affrontavano il corso di Biochimica affidandosi al precedente libro erano in difficoltà quando si davano per scontate delle nozioni che, evidentemente, tanto scontate non erano.

Oltre alla Chimica, la presente edizione prevede anche, rispetto alla versione precedente, lo sviluppo delle nozioni di base riguardanti il meccanismo di replicazione del DNA e la sua traduzione in proteine che, mentre per alcuni ordinamenti è appannaggio dei corsi di Biologia, per altri è invece trattato in quelli di Biochimica. Ovviamente non si sono trattati alcuni argomenti-chiave di estrema importanza riguardanti i dogmi centrali della Biologia, della Biologia Molecolare e della Genetica, ma ci siamo limitati ad accennare a questi argomenti in maniera molto superficiale, lasciando ad altri eccellenti testi il compito di trattare più approfonditamente questi argomenti.

Le aggiunte accennate hanno forzato una certa redistribuzione del materiale pre-esistente per facilitare l’unità discorsiva, ridurre le ripetizioni ed evitare accavallamenti. Si è preso spunto da questa necessità per snellire alcuni argomenti precedentemente trattati in maniera forse troppo approfondita ed approfondirne altri, sulla base di suggerimenti ed indicazioni pervenuti da numerosi Colleghi che desideriamo ringraziare.

Infine, altra novità di rilievo, si è introdotto l'uso dei colori. Riteniamo infatti che i colori siano imprescindibili nell'apprendimento scorrevole di Chimica e Biochimica in quanto facilitano enormemente la comprensione di concetti spesso ostici.

La presente edizione non vede modificato il layout delle edizioni precedenti, che ha incontrato il favore di studenti e docenti. Tale layout prevede un "sottotitolo" a molti dei paragrafi per facilitare il rapido inquadramento degli argomenti trattati all'interno del capitolo stesso. Inoltre sono stati aggiunti degli approfondimenti a vari argomenti (in corpo più piccolo rispetto al resto del testo).

Il nostro sforzo ha tentato di dare una risposta all'esigenza, da parte di Studenti e Docenti, di un testo di Biochimica mirato al curriculum formativo delle Lauree Triennali. Ci abbiamo provato con un testo che ci auguriamo semplice senza essere superficiale, dettagliato senza essere ridondante, moderno senza essere speculativo, tradizionale senza essere sorpassato, cercando di rendere leggera la lettura e agevole lo studio senza scadere nella banalità. Ci auguriamo vivamente che anche questo testo possa essere di soddisfazione per Studenti e Docenti, ed invitiamo tutti a segnalarci errori ed omissioni.

MICHELE SAMAJA

RITA PARONI

*Docenti di Biochimica, Biochimica Clinica
e Biologia Molecolare Clinica
Università degli Studi di Milano*

Indice generale

1. Elementi di Chimica	1		
1.1 Chimica	2		
1.2 Materia	2		
1.2.1 Proprietà chimiche e fisiche della materia.	2		
1.2.2 Composizione della materia	3		
1.3 Atomi e molecole	3		
1.3.1 Struttura dell'atomo	4		
1.3.2 Numero atomico e numero di massa	4		
1.3.3 Isotopi	4		
1.4 Modello atomico e struttura elettronica	6		
1.4.1 Numeri quantici e orbitali	6		
1.4.2 La configurazione degli elettroni	8		
1.4.3 Anioni e cationi	10		
1.5 Sistema periodico	10		
1.5.1 Tavola periodica degli elementi	10		
1.5.2 Proprietà periodiche	12		
1.6 Massa atomica assoluta e relativa	14		
1.6.1 Massa molecolare	15		
1.6.2 La mole	15		
1.7 Legami tra gli atomi	16		
1.7.1 Legame ionico	16		
1.7.2 Legame covalente	18		
1.7.3 Legame metallico	20		
1.8 Legami tra le molecole	21		
1.8.1 Forze di van der Waals	21		
1.8.2 Legami a ponte di idrogeno	23		
1.8.3 Attrazioni tra ioni e molecole	24		
1.9 Stati di aggregazione della materia	25		
1.9.1 Stato gassoso	26		
1.9.2 Stato liquido	27		
1.9.3 Stato solido	28		
1.10 Le soluzioni	28		
1.10.1 Concentrazione delle soluzioni	29		
1.10.2 Solubilità e processo della dissoluzione .	30		
1.10.3 Soluzioni sature	31		
1.10.4 Sostanze anfipatiche	32		
1.10.5 Influenza della pressione sulla solubilità	32		
1.10.6 Influenza della temperatura sulla			
solubilità.			33
1.11 Proprietà colligative delle soluzioni			33
1.11.1 Pressione osmotica			34
1.11.2 Soluzioni ipertoniche, ipotoniche			
e isotoniche			35
1.12 Equilibrio chimico			36
1.12.1 Equilibrio e velocità di reazione			37
1.12.2 Costante di equilibrio			38
1.12.3 Principio di Le Châtelier			38
1.13 La termodinamica			39
1.13.1 Energia e spontaneità delle reazioni ...			39
1.13.2 Sistemi termodinamici e funzioni di			
stato			41
1.13.3 1° Principio della Termodinamica			
ed Entalpia			43
1.13.4 2° Principio della Termodinamica			
ed Entropia			44
1.13.5 Energia libera di Gibbs (G) e spontaneità			
di una reazione			46
1.13.6 Relazione tra ΔG^0 e costante di equilibrio			
di una reazione			47
1.14 Acqua, acidi e basi e sistemi tampone			48
1.14.1 Struttura dell'acqua			49
1.14.2 Equilibrio di dissociazione dell'acqua ...			49
1.14.3 Definizione di pH			50
1.14.4 Definizioni di acido e base secondo			
Arrhenius			51
1.14.5 Definizioni di acido e base secondo			
Bronsted			51
1.14.6 Forza di un acido o di una base			51
1.14.7 Coppie acido/base coniugate			52
1.14.8 Acidi poliprotici			54
1.14.9 Sali			54
1.14.10 Tamponi			55
1.15 La cinetica chimica			57
1.15.1 Fattori che influenzano la velocità di			
reazione			58

1.15.2	Concentrazione dei reagenti	59	5. Sangue, emoglobina e trasporto dei gas	119	
1.15.3	Temperatura	61	5.1	Sangue	120
1.15.4	Orientamento delle molecole	63	5.2	Emoglobina	120
1.15.5	Natura dei reagenti	63	5.3	Struttura molecolare	121
1.15.6	Teoria del complesso attivato	63	5.4	Meccanismi di legame con O ₂	123
1.15.7	Catalizzatori	64	5.4.1	Modulazione dell'affinità di Hb per O ₂	124
1.16	Elettrochimica	65	5.4.2	Trasporto di CO ₂	125
1.16.1	Numero di ossidazione degli atomi	65	5.4.3	2,3-difosfoglicerato (2,3-DPG)	126
1.16.2	Reazioni di ossidoriduzione (redox)	66	5.5	Genetica di Hb	127
1.16.3	Pile chimiche	67	5.5.1	Emoglobina fetale	127
1.16.4	Potenziale di riduzione standard	68	5.5.2	Varianti di Hb	127
			5.5.3	Patologia molecolare di Hb	128
			5.5.4	Talassemie	128
2. Chimica organica		73	5.6	Dati clinici	129
2.1	Caratteristiche generali dei derivati del carbonio	74	5.6.1	Emoglobina glicata	129
2.2	Idrocarburi	76	5.7	Sistemi tampone del sangue	130
2.2.1	Alcani	76	5.7.1	Tampone fosfato	131
2.2.2	Cicloalcani	78	5.7.2	Tampone delle proteine presenti nel sangue	131
2.2.3	Alcheni	79	5.7.3	Tampone del bicarbonato	131
2.2.4	Idrocarburi aromatici	80	5.7.4	L'equazione di Henderson-Hasselbalch	131
2.3	Composti eterociclici aromatici	81	5.8	Proteine del plasma	132
2.4	Alcoli e tioalcoli	81	5.8.1	Enzimi plasmatici	133
2.4.1	Tioalcoli o tioli o mercaptani	81	5.8.2	Isoenzimi	134
2.5	Aldeidi e chetoni	82	5.9	Pressione oncotica	134
2.6	Acidi carbossilici	87			
2.7	Ossidazione di alcoli e tioalcoli (o tioli)	89	6. Collagene e proteine della matrice extracellulare	137	
2.8	Ammine	90	6.1	Matrice extracellulare	138
2.9	Derivati degli acidi carbossilici e fosforici	92	6.2	Collagene	138
2.9.1	Esteri, anidridi e ammidi	93	6.2.1	Ultrastruttura delle fibrille	138
2.10	Composti polifunzionali	94	6.2.2	Tropocollagene	139
			6.2.3	Struttura primaria	140
			6.2.4	Sintesi	140
			6.2.5	Patologie	142
			6.3	Elastina	143
3. La Biochimica nello studio delle cellule		97	7. Sistema immunitario e immunoglobuline	145	
3.1	Scopi della Biochimica	98	7.1	Sistema immunitario	146
3.2	La cellula	98	7.1.1	Risposte immunitarie	146
3.2.1	Microscopia	99	7.1.2	Linfociti	147
3.2.2	Struttura delle cellule eucariote	99	7.1.3	Teoria della selezione clonale	148
3.2.3	Membrane	100	7.1.4	Immunità naturale e acquisita	148
3.3	La logica della vita	101	7.2	Struttura delle immunoglobuline	150
3.3.1	La vita delle cellule	103	7.2.1	Parte costante di Ig	150
3.4	Omeostasi dell'acqua	104	7.2.2	Parte variabile di Ig	151
3.4.1	Ripartizione degli ioni intra- ed extra-cellulari	104	7.3	Generazione della diversità degli anticorpi	151
			7.3.1	Ricombinazione degli esoni	152
4. Struttura delle proteine		105	7.4	Altri componenti del sistema immunitario	153
4.1	Struttura generale delle proteine	106	7.4.1	Interleuchine	153
4.1.1	Aminoacidi	106	7.4.2	Interferoni	153
4.2	Legame peptidico e struttura delle proteine	108	7.4.3	Complemento	153
4.2.1	Struttura primaria	109			
4.2.2	Struttura secondaria	111	8. Enzimi	155	
4.2.3	Struttura terziaria	112	8.1	La catalisi chimica	156
4.2.4	Struttura quaternaria	116			
4.3	Biologia delle proteine	116			
4.3.1	Mutazioni genetiche	116			
4.3.2	Denaturazione	116			
4.3.3	Turnover	117			

8.1.1	Meccanismi della catalisi enzimatica	156	11.2.4	Regolazione della glicolisi	218
8.1.2	Reversibilità delle reazioni enzimatiche	158	11.2.5	Ingresso di fruttosio e galattosio nella glicolisi	220
8.2	Struttura degli enzimi	159	11.2.6	Destini del piruvato: ingresso nel ciclo di Krebs	220
8.2.1	Nomenclatura degli enzimi	160	11.2.7	Destini del piruvato: conversione in lattato	221
8.2.2	Specificità di substrato e di azione	160	11.3	Glicogeno	221
8.3	Coenzimi	162	11.3.1	Destini delle unità di glucosio mobilizzate dal glicogeno	222
8.3.1	Gli enzimi nelle vie metaboliche	162	11.4	Gluconeogenesi	223
8.4	Ipotesi per l'azione degli enzimi	165	11.4.1	Utilità della gluconeogenesi	223
8.4.1	Derivazione di Michaelis-Menten	165	11.5	Ossidazione extra-mitochondriale del glucosio	224
8.4.2	Trasformazione di Lineweaver-Burk	167	11.5.1	Metabolismo dell'alcool	225
8.5	Regolazione dell'attività enzimatica	167	11.5.2	Glucuronidi	226
8.5.1	Controllo della quantità di enzima	168	11.6	Riassunto dei metabolismi dei carboidrati	227
8.5.2	Controllo dell'attività dell'enzima	168			
8.5.3	Modificazioni covalenti	170			
8.6	Allosterismo	171			
8.6.1	Cinetiche degli enzimi allosterici	172			
8.7	Dosaggio dell'attività enzimatica	173			
9	Membrane biologiche	175	12	Metabolismo dei lipidi	229
9.1	Struttura delle membrane biologiche	177	12.1	Struttura dei lipidi	230
9.1.1	Movimenti dei fosfolipidi nelle membrane	179	12.1.1	Acidi grassi	230
9.1.2	Proteine di membrana	181	12.1.2	Trigliceridi	232
9.1.3	Glicocalice	181	12.1.3	Fosfolipidi	233
9.2	Sistemi di trasporto attraverso le membrane	183	12.1.4	Steroidi e colesterolo	234
9.2.1	Trasporto per diffusione semplice	183	12.2	Metabolismo dei lipidi	234
9.2.2	Trasporto mediato passivo	184	12.2.1	Assorbimento intestinale	234
9.2.3	Trasporto attivo	184	12.2.2	Trasporto ematico dei lipidi	236
9.2.4	Sistemi di trasporto passivi e attivi	186	12.3	Metabolismo degli acidi grassi	238
9.2.5	Trasporto attivo secondario o indiretto	186	12.3.1	β -ossidazione degli acidi grassi	238
9.2.6	Translocazione di gruppi	186	12.3.2	Resa energetica della β -ossidazione	240
9.2.7	Compartimentalizzazione intracellulare	188	12.3.3	Biosintesi degli acidi grassi	241
10	Bioenergetica	189	12.4	Metabolismo dei corpi chetonici	242
10.1	Energia libera	190	12.5	Biosintesi del colesterolo	243
10.2	Adenosin trifosfato (ATP)	191	12.6	Adipociti	245
10.3	Reazioni redox in Biochimica	193	12.6.1	Deposito dei trigliceridi	245
10.3.1	Ossidazione di NADH	195	12.6.2	Mobilizzazione dei trigliceridi	246
10.3.2	Ossidazione di FADH ₂	196	13	Metabolismo delle proteine	249
10.3.3	Strategia di conservazione dell'energia libera nelle cellule	196	13.1	Digestione delle proteine	250
10.3.4	Metabolismi cellulari	197	13.1.1	Bilancio azotato	252
10.3.5	Valore biologico degli alimenti	199	13.2	Metabolismo del gruppo amminico	254
10.4	Ciclo di Krebs	199	13.2.1	Transaminazione	254
10.5	Mitocondri e fosforilazione ossidativa	201	13.2.2	Deaminazione ossidativa	255
10.5.1	Catena di trasporto degli elettroni	202	13.2.3	Ciclo dell'urea	255
10.5.2	Fosforilazione ossidativa	203	13.2.4	Trasporto di NH ₃ nel sangue	256
11	Metabolismo dei carboidrati	207	13.3	Metabolismo dello scheletro carbonioso	256
11.1	Struttura dei carboidrati	208	13.3.1	Biosintesi degli aminoacidi	257
11.1.1	Monosaccaridi	208	13.3.2	Aminoacidi non proteici	258
11.1.2	Disaccaridi	210	13.4	Porfirine e pigmenti biliari	258
11.1.3	Polisaccaridi	212	13.4.1	Sintesi dell'eme	258
11.2	Digestione	214	13.4.2	Degradazione dell'eme	259
11.2.1	Assorbimento intestinale	214	14	Nucleotidi e acidi nucleici	261
11.2.2	Ingresso del glucosio nelle cellule	216	14.1	Struttura dei nucleosidi e dei nucleotidi	262
11.2.3	Glicolisi	216	14.2	Sintesi dei nucleotidi purinici	264
			14.2.1	Degradazione dei nucleotidi purinici	266
			14.2.2	Salvataggio delle purine	267

14.2.3	Regolazione del livello intracellulare di purine	267	16.2.1	Vitamina A	315
14.3	Pirimidine	268	16.2.2	Vitamina D o calcitriolo	317
14.3.1	Sintesi	268	16.2.3	Vitamina E o α -tocoferolo	317
14.4	Formazione dei deossi-ribonucleotidi	268	16.2.4	Vitamina F o acidi grassi essenziali	317
14.5	Acidi nucleici	270	16.2.5	Vitamina K	319
14.5.1	Struttura generale	270	16.3	Vitamine idrosolubili	320
14.6	DNA	271	16.3.1	Vitamina B ₁ o tiamina	320
14.6.1	Doppia elica	271	16.3.2	Vitamina B ₂ o riboflavina	321
14.6.2	Ripiegamenti	272	16.3.3	Vitamina B ₃ o niacina	321
14.6.3	Geni	273	16.3.4	Vitamina B ₅ o acido pantotenico	322
14.6.4	Replicazione del DNA	274	16.3.5	Vitamina B ₆ o piridossina	322
14.6.5	Mutazioni	277	16.3.6	Biotina	324
14.7	RNA	278	16.3.7	Acido folico	324
14.7.1	Trascrizione	278	16.3.8	Vitamina B ₁₂ o cobalamina	325
14.7.2	Maturazione e splicing	280	16.3.9	Vitamina C o acido ascorbico	326
14.7.3	Traduzione dell'mRNA in proteina	281	17. Nutrizione	327	
14.8	Il dogma centrale della Biologia: DNA→RNA→proteina	285	17.1	Definizioni usate nella Scienza della Nutrizione	328
15. Ormoni	287		17.2	Le principali classi di nutrienti	329
15.1	Classificazioni degli ormoni	288	17.3	Valore calorico dei macronutrienti	329
15.1.1	Modalità di trasmissione del segnale	288	17.3.1	Carboidrati	329
15.1.2	Struttura	289	17.3.2	Proteine	330
15.2	Trasduzione del segnale	290	17.3.3	Lipidi	332
15.2.1	Agonisti e antagonisti	290	17.3.4	Fibre	334
15.2.2	Meccanismi di trasduzione del segnale	291	17.3.5	Alcool	334
15.2.3	Sistema della proteina G	292	17.3.6	Minerali	335
15.2.4	Sistema adenilato ciclasti-cAMP	295	17.4	Dispendio energetico ed omeostasi	335
15.2.5	Fosfolipasi C e fosfatidil inositolo PIP ₂	297	17.4.1	Metabolismo basale	336
15.2.6	Fosfolipasi A2 e arachidonato	298	17.4.2	Dispendio calorico legato all'attività	336
15.3	Biochimica endocrinologica	298	17.4.3	Regolazione dell'assunzione di cibo	337
15.3.1	Ormoni tiroidei	299	17.4.4	Valutazione dello stato nutrizionale	338
15.3.2	Ormoni steroidei – corteccia surrenalica e sessuali	300	17.4.5	Markers biochimici di nutrizione	338
15.3.3	Ormone della crescita	304	17.5	Integrazione fra i metabolismi dei carboidrati e dei lipidi	339
15.3.4	Prolattina	304	17.5.1	Eritrociti	339
15.3.5	Ossitocina	304	17.5.2	Muscolo e cuore	340
15.3.6	Vasopressina	305	17.5.3	Cervello e tessuto nervoso	341
15.3.7	Catecolamine	305	17.5.4	Tessuto adiposo	342
15.3.8	Ormoni pancreatici	306	17.5.5	Fegato	343
15.3.9	Ormoni di regolazione del metabolismo del calcio	307	17.5.6	Rifornimento dei combustibili durante il digiuno	343
15.3.10	Rimodellamento osseo	310	17.6	Malnutrizione	344
16. Vitamine	313		17.7	Obesità	346
16.1	Recommended Dietary Allowance (RDA)	314	17.7.1	Dieta e salute	346
16.2	Vitamine liposolubili	315	17.7.2	Nutrizione e patologie croniche	348
			Elenco delle abbreviazioni	351	
			Indice analitico	352	