

S. Marini • F. Malatesta • E. Santaniello

L.M. Bagella • M. Bertoldi • D. Butera • C. Ciaccio • P. Ciuffreda

F. Compostella • I. Donati • C. Falciani • A. Fanzani • E. Forte

G. Pietrocola • V. Quaresima • F. Sinibaldi • R.A. Steiner • S. Viglio

Chimica e Propedeutica Biochimica

Semestre Filtro Medicina

**Teoria ed esercizi per Medicina, Odontoiatria e Veterinaria
2ª 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. 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 mediche 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.

1^a Edizione

Chimica propedeutica alle scienze bio-mediche © 2019

a cura di

**Enzo Santaniello, Massimiliano Coletta,
Francesco Malatesta, Giuseppe Zanotti, Stefano Marini**

Disegni a cura di Stefano Trainito

ISBN 978-88-299-3604-5

Copyright ©2025 by Piccin Nuova Libreria S.p.A., Padova

Autori

Stefano Marini

Professore Ordinario
Dipartimento di Scienze Cliniche e Medicina
Traslazionale
Università degli Studi di Roma “Tor Vergata”

Francesco Malatesta

Professore Ordinario fuori ruolo
Dipartimento di Scienze Biochimiche
“A. Rossi Fanelli”
Sapienza Università di Roma

Enzo Santaniello

Professore Ordinario fuori ruolo
Facoltà di Medicina e Chirurgia
Università degli Studi di Milano

Luigi M. Bagella

Professore Ordinario
Dipartimento di Scienze Biomediche
Università degli Studi di Sassari

Mariarita Bertoldi

Professore Associato
Dipartimento di Neuroscienze, Biomedicina e
Movimento
Università degli Studi di Verona

Daniela Butera

Ricercatrice
Dipartimento di Biomedicina, Neuroscienze e
Diagnostica avanzata
Università degli Studi di Palermo

Chiara Ciaccio

Ricercatrice
Dipartimento di Scienze Cliniche e Medicina
Traslazionale
Università degli Studi di Roma “Tor Vergata”

Pierangela Ciuffreda

Professore Ordinario
Dipartimento di Scienze Biomediche e Cliniche
Università degli Studi di Milano

Federica Compostella

Professore Associato
Dipartimento di Biotecnologie Mediche e
Medicina Traslazionale
Università degli Studi di Milano

Ivan Donati

Professore Associato
Dipartimento di Scienze della Vita
Università degli Studi di Trieste

Chiara Falciani

Professore Associato
Dipartimento di Biotecnologie Mediche
Università degli Studi di Siena

Alessandro Fanzani

Professore Ordinario
Dipartimento di Medicina Molecolare e
Traslazionale (DMMT)
Università degli Studi di Brescia

Elena Forte

Professore Associato
Dipartimento di Scienze Biochimiche
“A. Rossi Fanelli”
Sapienza Università di Roma

Giampiero Pietrocola

Professore Associato
Dipartimento di Medicina Molecolare
Unità di Biochimica
Università degli Studi di Pavia

Valentina Quaresima

Professore Ordinario
Dipartimento di Medicina Clinica, Sanità
Pubblica, Scienze della Vita e dell’Ambiente
Università degli Studi dell’Aquila

Federica Sinibaldi

Ricercatore
Dipartimento di Scienze Cliniche e
Medicina Traslazionale
Università degli Studi di Roma “Tor Vergata”

Roberto A. Steiner

Professore Ordinario
Dipartimento di Scienze Biomediche
Università degli Studi di Padova
Professor of Biomolecular structure
King’s College London

Simona Viglio

Professore Associato
Dipartimento di Medicina Molecolare
Unità di Biochimica
Università degli Studi di Pavia

Prefazione alla seconda edizione

La conoscenza scientifica è in costante evoluzione, e con essa anche gli strumenti didattici devono essere adeguatamente rinnovati per rispondere alle esigenze di studenti, docenti e professionisti in formazione. È con questo spirito che nasce la nuova edizione del volume *Chimica e Propedeutica Biochimica*.

La precedente edizione, intitolata *Chimica propedeutica alle scienze biomediche*, è stata rivisitata nei contenuti, nella struttura e nell'approccio didattico. Questa nuova edizione non è soltanto un aggiornamento: è il frutto di un ampio lavoro di revisione e ampliamento, a cui hanno partecipato nuovi autori e collaboratori provenienti da 13 diverse università italiane. Il contributo di questi docenti ha permesso di arricchire il testo con prospettive complementari, esperienze maturate in ambiti diversi dell'insegnamento della chimica e della biochimica, adottando un linguaggio ancora più vicino alle necessità didattiche degli studenti delle scienze biomediche.

Adatto per il semestre filtro dei corsi di laurea magistrale a ciclo unico in Medicina e Chirurgia (LM-41), Odontoiatria e Protesi dentaria (LM-46) e Medicina Veterinaria (LM-42), il volume copre in modo completo e coerente tutto il syllabus, predisposto per analizzare tutti i concetti che permettono di costruire le più importanti biomolecole a partire dagli atomi, con un impianto didattico concepito per favorire la comprensione e l'integrazione dei concetti fondamentali necessari per affrontare le discipline del primo anno universitario.

Il testo conserva la sua impostazione chiara e graduale, adottata per accompagnare lo studente dall'apprendimento dei principi della chimica generale e inorganica fino alle basi della chimica organica e della biochimica, con una particolare attenzione alla propedeuticità delle conoscenze, indispensabile per la comprensione delle discipline biomediche avanzate.

Le sezioni teoriche sono integrate da numerosi esempi applicativi, richiami clinici e schede di approfondimento, pensati per stimolare l'interesse e favorire il collegamento tra teoria e pratica. Ogni capitolo è arricchito da una nuova serie di esercizi e strumenti per l'autovalutazione.

Auspichiamo che questa nuova edizione possa rappresentare un valido supporto allo studio, non solo per il superamento degli esami, ma anche per la costruzione di una solida base scientifica su cui poggiare il futuro percorso accademico e professionale degli studenti.

Ringraziamo i Colleghi che hanno collaborato con entusiasmo alla realizzazione di questo progetto editoriale, condividendone impostazione e finalità, e confidiamo che i Lettori possano trovare in queste pagine una guida chiara, completa e stimolante.

Stefano Marini
Francesco Malatesta
Enzo Santaniello

Indice generale

Introduzione.....	1
1 ► La composizione della materia: breve storia dell'atomo	21
1.1 L'atomo indivisibile	21
1.2 L'atomo non è indivisibile: i primi modelli atomici	23
1.3 Il nucleo dell'atomo	25
1.4 Isotopi stabili e instabili	30
1.5 La radioattività.....	31
1.6 Proprietà magnetiche del nucleo e Risonanza Magnetica Nucleare.....	34
Domande a risposta multipla	41
Quesiti a completamento	45
2 ► La configurazione elettronica degli atomi	47
2.1 Dalla fisica classica alla meccanica quantistica	49
2.2 I numeri quantici.....	52
2.3 La configurazione elettronica degli atomi poli-elettronici	56
2.4 La Tavola Periodica degli elementi	62
2.5 Proprietà periodiche degli atomi.....	68
2.6 Configurazione elettronica di cationi e anioni monoatomici.....	75
Domande a risposta multipla	77
Quesiti a completamento	79
3 ► Il legame chimico	81
3.1 I gas nobili e la regola dell'ottetto di Lewis	81
3.2 Il legame ionico	84
3.3 Il legame covalente.....	87
3.4 Molecole biatomiche	92
3.5 Polarizzazione del legame covalente	92
3.6 Molecole e ioni poliatomici.....	95
3.7 Il catione poliatomico ammonio (NH_4^+), un esempio di legame dativo	97
3.8 Legami delocalizzati e formule di risonanza.....	99
3.9 L'espansione dell'ottetto di Lewis	101
Domande a risposta multipla	104
Quesiti a completamento	106
4 ► Gli elettroni nelle molecole	109
4.1 Gli orbitali molecolari	109
4.2 Orbitali ibridi	119
4.4 Orbitali ibridi che coinvolgono orbitali atomici di tipo d	134
Domande a risposta multipla	137
Quesiti a completamento	141

5 ▶ Interazioni tra specie chimiche e stati di aggregazione della materia: lo stato gassoso	143
5.1 Interazioni interatomiche e intermolecolari (forze di van der Waals)	143
5.2 Legami idrogeno	146
5.3 Interazioni ione-dipolo	148
5.4 Forze intermolecolari e stati di aggregazione	150
5.5 Lo stato gassoso	150
Domande a risposta multipla	166
Quesiti a completamento	174
6 ▶ Gas ideali e principi di termodinamica	177
6.1 Sistema termodinamico costituito da un gas ideale	179
6.2 Primo principio della termodinamica	180
6.3 La funzione di stato entalpia H	181
6.4 La funzione di stato entropia e il secondo principio della termodinamica	183
Domande a risposta multipla	188
Quesiti a completamento	191
7 ▶ Liquidi, solidi e passaggi di stato	193
7.1 Lo stato liquido	193
7.2 La tensione superficiale	195
7.3 Tensione di vapore ed evaporazione	201
7.4 Lo stato solido	207
7.5 Passaggi di stato	210
7.6 Termodinamica dei passaggi di stato	215
7.7 I diagrammi di stato	216
Domande a risposta multipla	221
Quesiti a completamento	224
8 ▶ Le soluzioni	225
8.1 Le soluzioni	226
8.2 Le soluzioni acquose	229
8.3 Termodinamica del processo di solubilizzazione	232
8.4 Dispersioni colloidali	236
8.5 La concentrazione di una soluzione	238
8.6 Miscelazione e diluizioni di soluzioni	246
8.7 Solubilità dei gas in acqua: la legge di Henry	247
8.8 Soluzioni acquose di gas che reagiscono con l'acqua: il biossido di carbonio CO_2 e l'ammoniaca NH_3	250
Domande a risposta multipla	264
Quesiti a completamento	269
9 ▶ Soluzioni ideali e proprietà colligative	271
9.1 Le soluzioni ideali	271
9.2 Le proprietà colligative	273
9.3 La pressione osmotica	285
Domande a risposta multipla	309
Quesiti a completamento	311
10 ▶ Reazioni chimiche	313
10.1 Tipologie di reazioni chimiche	315
10.2 Bilanciamento delle reazioni chimiche	317
10.3 Reazioni di ossidoriduzione (redox)	319

10.4	Bilanciamento di semi-reazioni di riduzione e ossidazione	320
10.5	Procedimento per bilanciare le reazioni redox	323
10.6	Relazioni ponderali e calcoli stechiometrici.....	328
	Domande a risposta multipla	334
	Quesiti a completamento	336
11 ▶	Principi di cinetica chimica	337
11.1	Velocità di reazione	338
11.2	Equazioni cinetiche e ordine di reazione.....	339
11.3	Altre considerazioni sulla velocità di reazione.....	342
11.4	Unità di misura della velocità di reazione e delle costanti di velocità	345
11.5	Cinetica di reazioni reversibili.....	345
11.6	Equilibrio chimico	346
11.7	Dipendenza della velocità di reazione dalla temperatura ed equazione di Arrhenius	348
	Domande a risposta multipla	352
	Quesiti a completamento	356
12 ▶	L'equilibrio chimico.....	357
12.1	Quoziente di reazione e costante di equilibrio K_{eq}	358
12.2	Significato della costante di equilibrio K_{eq}	360
12.3	Il principio dell'equilibrio mobile	361
12.4	Equilibri in fase omogenea	363
12.5	Equilibri in fase eterogenea	364
12.6	Equilibri ionici di sali poco solubili	365
12.7	Il prodotto di solubilità	366
12.8	Effetto di altri soluti sulla solubilità molare	369
	Domande a risposta multipla	381
	Quesiti a completamento	384
13 ▶	Termodinamica delle reazioni chimiche.....	385
13.1	Entalpia di reazione e legge di Hess.....	385
13.2	$\Delta H_{reazione}$ e temperatura influenzano il valore della costante di equilibrio K_{eq}	388
13.3	Criteri di spontaneità di una reazione chimica	390
13.4	Energia libera G e criterio di spontaneità di una reazione.....	392
13.5	Energia libera (G), quoziente di reazione (Q) e costante di equilibrio (K_{eq})	393
13.6	Equilibri multipli: energia libera, parziale e totale.....	396
13.7	La teoria delle collisioni e dello stato di transizione	397
13.8	Aspetti termodinamici e cinetici di una reazione: il diagramma di reazione	398
13.9	I catalizzatori	401
	Domande a risposta multipla	402
	Quesiti a completamento	407
14 ▶	Equilibri acido-base in acqua: acidi e basi forti e deboli.....	409
14.1	La teoria di Brønsted e Lowry: coppie coniugate acido-base	411
14.2	La ionizzazione dell'acqua	413
14.3	L'operatore matematico p e il significato del pH.....	415
14.4	Le costanti di ionizzazione acida e basica (K_a e K_b).....	418
14.5	Forza degli acidi e delle basi: acidi e basi forti e deboli.....	420
14.6	Calcolo esatto del pH di soluzioni acide e basiche.....	423
14.7	Relazione tra la K_a di un acido e la K_b della base coniugata	428

Domande a risposta multipla	434
Quesiti a completamento	440
15 ► Sali e soluzioni tampone	443
15.1 Reazione di neutralizzazione	444
15.2 Le soluzioni tampone.....	448
15.3 Calcolo del pH di una soluzione tampone costituita da un acido debole e un suo sale	450
15.4 Soluzione tampone costituita da una base debole e dal suo acido coniugato	454
15.5 Il potere tampone	455
15.6 Ionizzazione di un acido in funzione del pH della soluzione	456
Domande a risposta multipla	461
Quesiti a completamento	467
16 ► Acidi poliprotici e soluzioni tampone nell'organismo umano	469
16.1 Acidi diprotici.....	469
16.2 Basi poliprotiche	470
16.3 Acidi triprotici	473
16.4 Calcolo del pH di soluzioni di acidi o basi poliprotici	474
16.5 Soluzione tampone costituita da acidi poliprotici e sali corrispondenti	474
16.6 Sistemi tampone dei fluidi biologici.....	475
16.7 Il sistema tampone bicarbonato/acido carbonico nell'organismo umano	480
Domande a risposta multipla	486
Quesiti a completamento	487
17 ► Titolazioni acido-base.....	489
17.1 Titolazione di un acido forte con base forte	489
17.2 Titolazione di un acido (base) debole con base (acido) forte	492
17.3 Titolazione di un acido debole poliprotico con base forte.....	497
17.4 Indicatori di pH	502
17.5 Tamponi di interesse biomedico.....	505
Domande a risposta multipla	507
Quesiti a completamento	510
18 ► Reazioni di ossidoriduzione e pile.....	513
18.1 Pile ed elettrolisi	515
18.2 La pila Daniell	516
18.3 Fattori che influenzano il potenziale della pila.....	519
18.4 Equilibri redox e pile	521
18.5 Potenziale di riduzione standard.....	522
18.6 Spontaneità delle reazioni redox.....	528
Domande a risposta multipla	529
Quesiti a completamento	533
19 ► Energia delle reazioni di ossidoriduzione ed equazione di Nernst.....	535
19.1 Potenziale di una pila, energia libera ed equilibri redox	535
19.2 Equazione di Nernst.....	536
19.3 Potenziale di riduzione di singoli elettrodi in condizioni non-standard	537
19.4 Applicazioni della legge di Nernst	539
19.5 Potenziale di una pila in condizioni non-standard.....	544

19.6 Calcolo della costante d'equilibrio K_{eq} a partire dal potenziale standard della pila (E_{pila}^0)	547
Domande a risposta multipla	549
Quesiti a completamento	550

Chimica organica 553

Domande a risposta multipla	556
-----------------------------------	-----

20 ► Idrocarburi saturi: alcani e cicloalcani 557

20.1 Idrocarburi saturi: alcani lineari e ramificati	557
20.2 Isomeria dei composti organici	562
20.3 Cicloalcani	571
Domande a risposta multipla	576
Quesiti a completamento	578

21 ► Idrocarburi insaturi e idrocarburi aromatici.....579

21.1 Idrocarburi insaturi: gli alcheni	579
21.2 Idrocarburi insaturi: gli alchini	583
21.3 Cicloalcheni	585
21.4 Idrocarburi aromatici: il benzene.....	586
Domande a risposta multipla	592
Quesiti a completamento	594

22 ► Composti organici contenenti gruppi funzionali.....597

22.1 Alcoli	597
22.2 Tioalcoli o tioli	604
22.3 Gli eteri	605
22.4 Composti carbonilici	606
22.5 Acidi e basi organiche	611
22.6 Composti aromatici contenenti gruppi funzionali	616
22.7 Composti polifunzionali	621
22.8 Stereoisomeria dei composti polifunzionali	627
Domande a risposta multipla	635
Quesiti a completamento	638

23 ► La reattività dei composti organici 641

23.1 I meccanismi di reazione in chimica organica: classificazione e descrizione.....	641
23.2 Reattività dei composti organici contenenti legami semplici σ	643
23.3 Reattività dei composti organici contenenti legami π	653
23.4 Reazioni di eliminazione	656
23.5 Derivati delle ammine	660
23.6 Le sostituzioni elettrofile: la particolare reattività del benzene.....	663
Domande a risposta multipla	665
Quesiti a completamento	670

24 ► Reazioni di ossido-riduzione e reazioni intermolecolari delle principali classi di composti organici 673

24.1 Reazioni di ossido-riduzione (redox)	673
24.2 Reazioni intramolecolari e intermolecolari in chimica organica.....	684
24.3 Reazioni intermolecolari tra gruppi funzionali uguali.....	686
24.4 Reazioni intermolecolari tra gruppi funzionali diversi.....	688
Domande a risposta multipla	700
Quesiti a completamento	706

Biomolecole.....	709
25 ► I lipidi	713
25.1 Gli steroidi	714
25.2 Le vitamine liposolubili	716
25.3 I terpeni	717
25.4 Gli acidi grassi.....	718
25.5 Anioni di acidi grassi e micelle	725
25.6 Lipidi derivati dagli acidi grassi	727
25.7 Aggregati sopramolecolari di fosfolipidi	732
25.8 Idrolisi dei trigliceridi.....	735
Domande a risposta multipla	738
Quesiti a completamento	746
26 ► Carboidrati: monosaccaridi, disaccaridi e polisaccaridi.....	749
26.1 Monosaccaridi	749
26.2 Aldosi e chetosi in forma ciclica	758
26.3 Reazioni dei monosaccaridi.....	763
26.4 I disaccaridi	769
26.5 Idrolisi del legame glicosidico.....	776
26.6 Oligosaccaridi	777
26.7 Polisaccaridi	778
26.8 Idrolisi dei polisaccaridi	782
Domande a risposta multipla	784
Quesiti a completamento	788
27 ► Nucleosidi, nucleotidi e trifosfati nucleosidici e fosfati nucleosidici	791
27.1 La struttura dei nucleosidi	791
27.2 I nucleotidi	794
27.3 Il legame 3',5'-fosforico.....	796
27.4 Difosfati e trifosfati di nucleosidi.....	799
27.5 Coenzimi nucleotidici.....	804
Domande a risposta multipla	807
Quesiti a completamento	810
28 ► Amminoacidi e legame peptidico: peptidi, proteine ed enzimi.....	811
28.1 Amminoacidi e loro struttura.....	811
28.2 Classificazione degli L-amminoacidi	813
28.3 Equilibri acido-base degli amminoacidi	816
28.4 Punto isoelettrico (pI).....	817
28.5 Peptidi e legame peptidico.....	819
28.6 Caratteristiche del legame peptidico.....	821
28.7 Proteine.....	822
28.8 Struttura delle proteine	822
28.9 La stabilità delle proteine e la loro denaturazione	827
28.10 Proprietà delle soluzioni di proteine in acqua	829
28.11 Proteine con funzione di catalizzatori: gli enzimi	830
28.12 Confronto tra una reazione chimica e una enzimatica:	
idratazione di un doppio legame	832
Domande a risposta multipla	839
Quesiti a completamento	841
Soluzioni degli esercizi	843