PRINCIPI DI CHIMICA GENERALE E ORGANICA

per i corsi di laurea a indirizzo bio-medico

Dello Stesso Editore:

Adamo et al. – Istologia per le lauree sanitarie
Arienti – Le basi molecolari della nutrizione
Arienti – Un compendio di biochimica
Arienti/Fiorilli – Biochimica dell'attività motoria
Atkinson – Introduzione alla psicologia di Hilgard
Bellini/Manuzio – Fisica per le scienze della vita
Bernabeo/Pontieri/Scarano – Elementi di storia della medicina
Bruni/Nicoletti – Dizionario di erboristeria e di fitoterapia
Cabras/Martelli – Chimica degli alimenti
Carlson – Fisiologia del comportamento
Carlson – Psicologia: la scienza del comportamento
Catani/Savini/Guerrieri/Avigliano – Appunti di biochimica
Cevenini – Microbiologia clinica
Cevenini/Sambri – Microbiologia e microbiologia clinica per le lauree triennali
Chiarelli – Dalla natura alla cultura
Chiarelli/Bigazzi/Sineo – Lineamenti di antropologia per le scienze motorie
Cinti – Quiz a scelta multipla di anatomia umana normale
Colton – Statistica
Conner/Hartl – Elementi di genetica ecologica
Cooper/Hausman – La cellula: un approccio molecolare
Cozzani/Dainese – Biochimica degli alimenti e della nutrizione
Cromer – Fisica (per Medicina, Farmacia e Scienze biologiche)
Cunningham – Anatomia umana
De Felici et al. – Embriologia umana
Del Gobbo – Immunologia per le lauree sanitarie
Dizionario Medico Enciclopedico illustrato a colori
Esposito et al. – Anatomia umana
Evangelisti/Restani – Prodotti dietetici
Fantoni et al. – Biologia cellulare e genetica
Fessenden/Fessenden – Chimica organica
Foye – Chimica farmaceutica
Fumagalli – Atlante fotografico di anatomia umana (3 volumi)
Furlanut – Farmacologia generale e clinica per le lauree triennali
Galzigna – Elementi di enzimologia
Ganong – Fisiologia medica
Garrett/Grisham – Principi di biochimica
Giannazzo – Lezioni di biofisica e tecnologie biomediche
Gigliotti/Verga – Biotecnologie alimentari
Gilman/Newman – Neuroanatomia e neurofisiologia
Giudice et al. – Biologia dello sviluppo
Goglia – Anatomia per le lauree triennali
Goglia – Citologia ed istologia generale
Goglia – Embriologia umana
Janeway – Immunobiologia
Jawetz – Microbiologia medica
Judd et al. – Botanica sistematica
Junqueira – Compendio di istologia
Katzung – Farmacologia generale e clinica
Katzung/Trevor – Farmacologia: quesiti a scelta multipla e compendio della materia
Kent – Anatomia comparata dei vertebrati
Köning/Liebich – Anatomia dei mammiferi domestici
Lanz/Wachsmuth – Anatomia pratica. Vol. I: Arto superiore
Lang/Wachsmuth – Anatomia pratica. Vol. II: Arto inferiore
Lewis – Genetica umana
Mader – Biologia: l'essenziale
Mangia/Bevilacqua – Basi biologiche dell'attività psichica
Mariuzzi – Anatomia patologica e correlazioni anatomo-cliniche
Massari – Elementi di biofisica
Masterton/Hurley – Chimica
Matthews – Neurobiologia
Maugini/Maleci Bini/Mariotti Lippi – Botanica farmaceutica
McMurry – Chimica organica
Merighi – Anatomia applicata e topografia regionale veterinaria
Mezzogiorno – Anatomia dell'uomo
Midrio et al. – Fisiologia umana per le lauree sanitarie
Minelli/Del Grande – Atlante di anatomia dei vertebrati
Mita/Feroci – Fisica biomedica
Monesi – Istologia (VI edizione)
Pasqua/Abbate/Forni – Botanica generale e diversità vegetale
Petrucci/Harwood – Chimica generale
Pier/Lyczak/Wetzler – Immunologia, Infezione e Immunità
Pipkin/Trent/Hazlet – Geologia ambientale
Pontieri – Patologia generale e Fisiopatologia generale per le lauree triennali
Pontieri/Russo/Frati – Patologia generale
Rhoades/Pflanzer – Fisiologia generale umana
Rizzoli/Brunelli/Gastaldini – Guida illustrata all'istologia
Rohen/Yokochi/Lütjen-Drecoll – Atlante di anatomia umana. Uno studio fotografico del corpo umano
Rubini – Fisiologia per le lauree triennali
Saladin – Anatomia umana
Samaja – Biochimica per le lauree triennali
Senatore – Biologia e botanica farmaceutica
Siliprandi/Tettamanti – Biochimica medica
Taiz/Zeiger – Biologia vegetale
Vigué/Martín – Atlante a colori di anatomia umana
Waxman – Neuroanatomia clinica
Whitten – Chimica generale

Enzo Santaniello, Mario Alberghina
Massimiliano Coletta, Stefano Marini

PRINCIPI DI CHIMICA GENERALE E ORGANICA

per i corsi di laurea a indirizzo bio-medico

PICCIN

Tutti i diritti sono riservati

È VIETATA PER LEGGE LA RIPRODUZIONE IN FOTOCOPIA
E IN QUALSIASI ALTRA FORMA
È vietato riprodurre, archiviare in un sistema di riproduzione o trasmettere sotto qualsiasi forma o con qualsiasi mezzo elettronico, meccanico, per fotocopia, registrazione o altro, qualsiasi parte di questa pubblicazione senza autorizzazione scritta dell'Editore. Ogni violazione sarà perseguita secondo le leggi civili e penali.

ISBN 978-88-299-2202-4

Stampato in Italia

© 2013 by Piccin Nuova Libraria s.p.a., Padova

Autori

Enzo Santaniello
Professore Ordinario di Chimica e Biochimica
Dipartimento di Scienze della Salute
Università degli Studi di Milano

Mario Alberghina
Professore Ordinario di Chimica e Biochimica
Dipartimento di Biomedicina Clinica e Molecolare
Università degli Studi di Catania

Massimiliano Coletta
Professore Ordinario di Chimica e Biochimica
Dipartimento di Scienze Cliniche e Medicina Traslazionale
Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"

Stefano Marini
Professore Associato di Chimica e Biochimica
Dipartimento di Scienze Cliniche e Medicina Traslazionale
Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"

Prefazione

L'insegnamento della chimica in un corso di laurea a indirizzo bio-medico è forse uno dei compiti più impegnativi che si possa prospettare a un docente universitario della disciplina. Pur rivestendo un ruolo importantissimo tra gli insegnamenti delle cosiddette materie di base, attualmente nei corsi di laurea suddetti, alla chimica sono assegnati pochi crediti formativi universitari (CFU). Il CFU è considerato l'unità di misura dell'impegno dello studente e del docente, e, quindi, anche del peso relativo di una disciplina all'interno dell'intero corso di laurea. Se si escludono le lauree triennali dell'area bio-medica nelle quali l'insegnamento della chimica è spesso unito a quello della biochimica e con un numero medio di 2 CFU, nel caso delle lauree magistrali come Medicina e Chirurgia oppure Odontoiatria e protesi dentaria o nella laurea in Scienze Motorie, i CFU assegnati alla chimica si traducono, in generale, in non più di 50-60 ore di insegnamento cosiddetto frontale. Il numero di queste ore diminuisce se alle lezioni di tipo tradizionale si affiancano forme di insegnamento interattivo, come le classiche esercitazioni.

Nel breve arco di tempo riservato all'insegnamento di questo corso, che corrisponde ad un calendario di pochi mesi, il docente deve fornire al discente le basi chimiche utili alla comprensione dei fenomeni molecolari su cui poggiano la biochimica, la fisiologia, la patologia, la farmacologia e tutte le discipline mediche che in qualche modo si colleghino, anche occasionalmente, con la chimica.

La conseguenza di questa situazione è che il corso deve essere condotto in modo agile e in grado di comunicare in modo semplificato concetti complessi, senza perdere di vista la precisione richiesta da una disciplina scientifica come la chimica. I docenti delle diverse sedi universitarie affrontano questo difficile compito seguendo le modalità più diverse.

Questo libro si pone l'obiettivo di semplificare il percorso formativo chimico degli studenti dei corsi di laurea a indirizzo bio-medico, i quali hanno appena terminato il ciclo di studi della scuola media superiore con una preparazione eterogenea di base in chimica e talvolta non sufficiente ad affrontare i contenuti di un corso universitario di chimica.

Il libro è articolato in numerosi, ma brevi, capitoli organizzati in modo da agevolare la lettura e la comprensione dei contenuti, che partono dalla struttura atomica e molecolare della materia per addentrarsi in modo più compiuto in argomenti classici della chimica generale. Una seconda parte sviluppa concetti di chimica organica finalizzati alla descrizione delle caratteristiche strutturali e delle funzioni delle più importanti biomolecole di interesse bio-medico.

Gli autori sperano di avere raggiunto un buon equilibrio delle parti all'interno d'una operazione complessa e si augurano che il libro di testo possa essere favorevolmente accolto soprattutto dagli studenti, il cui coinvolgimento di lettori è stato il fine che gli autori si sono prefissati nella stesura di questo libro e che ha consentito loro di affrontare e superare le difficoltà di questo gravoso impegno didattico.

Gli autori saranno grati ai colleghi e a quanti vorranno far pervenire suggerimenti e critiche, che saranno attentamente considerati al fine di raggiungere al meglio gli obiettivi didattici che essi si sono proposti nel redigere, nella sua forma attuale, questo nuovo libro di testo.

Gli Autori

Introduzione

L'interesse della **chimica** è rivolto a tutti i campi delle scienze tecniche, pure o applicate. La sua attenzione, ad esempio, è centrata tanto sul meccanismo della corrosione di metalli quanto sulla produzione di nuove fibre artificiali, sia allo studio degli effetti biochimici di un farmaco, sia all'indagine del meccanismo con cui alcune piante e alcuni microrganismi fissano l'azoto dell'aria. La struttura delle proteine, la composizione e la reattività del DNA, macromolecola specializzata nel trasmettere caratteri genetici, nonché il tentativo stesso di manipolare artificialmente tale molecola, sono altrettante aree di applicazione dei metodi di studio della chimica.

Anche chi si occupa di medicina e biologia in senso stretto ha bisogno di conoscere i principi di questa scienza per studiare i fenomeni vitali che, a livello molecolare, si fondano proprio sulle leggi della chimica. Essa, quale scienza esatta, quantifica i fenomeni delle trasformazioni chimiche e cerca di comprendere i meccanismi alla base dei processi vitali. Raggruppa, inoltre, i dati ottenuti dall'osservazione sperimentale in una visione il più possibile unitaria, attraverso la formulazione di *ipotesi, teorie* e *leggi,* che assumono sempre una formulazione matematica.

La chimica, in definitiva, ha come campo di interesse tutta la materia che ci circonda e ne studia composizione e trasformazioni.

Indice generale

Principi di chimica generale ... 1

Capitolo 1 – Dall'atomo indivisibile alla meccanica quantistica 3

L'atomo indivisibile di Dalton 3
L'atomo non è indivisibile: i primi modelli atomici 4
Il modello atomico di Thomson 5
Il modello atomico di Rutherford 6
La nascita della meccanica quantistica 7
Il modello atomico di Bohr 7
La natura dualistica dell'elettrone 9
L'equazione d'onda di Schrödinger 9
Gli orbitali dell'elettrone dell'atomo di idrogeno allo stato fondamentale 11
Primo livello energetico (n = 1) 11
Secondo livello energetico (n = 2) 12
Terzo livello energetico (n = 3) 13

Capitolo 2 – L'atomo oggi 15

Configurazione elettronica degli atomi polielettronici 18
Configurazione elettronica dei primi dieci atomi (n=1 e n=2) 20
Configurazione elettronica di atomi con orbitali esterni con n>2 21
Il nucleo 25
Massa atomica relativa 26
Nuclei isotopi 27
Le masse atomiche relative degli atomi 28
Isotopi stabili e instabili 29
La radioattività 31

Capitolo 3 – La Tavola Periodica degli elementi 35

I periodi della Tavola Periodica 38
I gruppi della Tavola Periodica 38
Ulteriori suddivisioni della Tavola Periodica 39
Periodicità e struttura elettronica 40
Raggio atomico 40
Potenziale di ionizzazione 42
Affinità elettronica 43
Elettronegatività 44

Capitolo 4 – Ioni e legame ionico 45

La regola dell'ottetto di Lewis 45
La valenza 46
La rappresentazione degli atomi secondo Lewis .. 46
Cationi ed anioni 47
Catodo e cationi, anodo e anioni 49
Energie di ionizzazione e formazione di ioni 50
Raggio ionico 51
Il legame ionico 52
Formule di composti ionici 54
Formazione del legame ionico tra due atomi 54
Simmetria del legame ionico 55
Distanza di legame e raggi ionici 56

Capitolo 5 – Dagli atomi alle molecole: il legame covalente 57

Il legame covalente 59
Legame covalente omopolare 59
Legame covalente polarizzato (o eteropolare) ... 59
Momento dipolare 61
Uno speciale legame covalente: il legame coordinativo o dativo 62
I legami covalenti del carbonio nelle molecole organiche 64
Lunghezza di legame 64
Energia di legame 65
Legami delocalizzati 66
Due ossidi del carbonio: CO_2 e CO 67
L'espansione dell'ottetto 69

Capitolo 6 – Gli elettroni nelle molecole .. 71

La molecola di idrogeno 71
La molecola H_2 secondo la teoria VB 72
La molecola H_2 secondo la teoria MO 73
Gli orbitali molecolari di molecole biatomiche omonucleari secondo la teoria MO 75
La molecola biatomica di azoto N_2 76
Orbitali molecolari di molecole poliatomiche 79
La teoria VSEPR 81

Capitolo 7 – Orbitali ibridi e forma delle molecole 83

Ibridazione di un orbitale s e tre orbitali p: orbitali ibridi sp^3 85

Molecole formate da atomi ibridizzati sp^3 ..... *86*
Caratteristiche delle molecole formate da atomi ibridati sp^3 ..... *87*
Ibridazione di un orbitale s e due orbitali p: orbitali ibridi sp^2 90
Una molecola formata da atomi ibridati sp^2: l'etene *90*
Ibridazione di un orbitale s e un orbitale p: orbitali ibridi sp 92
Una molecola organica con triplo legame: l'etino (acetilene) *92*
Ibridazione ed energia 95
Altri orbitali ibridi 95

Capitolo 8 – Forze intermolecolari e stati di aggregazione della materia 97

Interazioni intermolecolari o forze di van der Waals 98
Interazioni tra molecole non polari *98*
Legami idrogeno 100
Interazioni ione-dipolo 101
Proprietà fisiche e proprietà chimiche della materia 102
Stati di aggregazione e forze intermolecolari 103
Stato gassoso *104*
Stato liquido *104*
Stato solido *105*

Capitolo 9 – I gas ideali 109

Trasformazioni isoterme (legge di Boyle) 110
Trasformazioni isobare (prima legge di Gay-Lussac) 111
La temperatura assoluta (scala Kelvin) 112
Trasformazioni isocore 113
La legge di Avogadro ed il concetto di mole 113
L'equazione di stato dei gas perfetti 114
Termodinamica di un sistema gassoso 117
Energia di un sistema gassoso 119
Primo principio della termodinamica 119
La grandezza termodinamica entalpia H 121
Miscele di gas: la legge di Dalton 122

Capitolo 10 – I liquidi 125

Viscosità e fluidità 125
La tensione superficiale di un liquido 126
Tensione di vapore 130
Temperatura *131*
Massa molecolare *131*
Forze intermolecolari *133*
Ebollizione 133
Legami idrogeno, tensione di vapore ed ebollizione 134

Capitolo 11 – Passaggi di stato 137

Dal solido al gas 137
La curva di riscaldamento dell'acqua *138*
Dal gas al solido 139
Termodinamica dei passaggi di stato 141
I diagrammi di stato *142*

Capitolo 12 – Le soluzioni 149

Dispersioni colloidali 150
Le soluzioni 151
Solubilità 151
L'acqua, solvente polare 153
Dissoluzione e dissociazione 153
Termodinamica del processo di solubilizzazione 154
Fattori che influenzano la solubilità 156
Soluzioni dei gas nei liquidi: la legge di Henry 156

Capitolo 13 – Proprietà delle soluzioni .. 161

Mole e massa molare 163
La concentrazione in moli 164
Le proprietà colligative delle soluzioni 166
La legge di Raoult 167
Innalzamento della temperatura di ebollizione di una soluzione 172
Abbassamento del punto di congelamento di una soluzione 173

Capitolo 14 – La pressione osmotica 177

Pressione osmotica di una soluzione 178
Osmosi tra due soluzioni di concentrazione diversa . 179
Il binomio di Van't Hoff 182
Osmoli e osmolarità 184
Osmolarità di soluzioni isotoniche, ipotoniche ed ipertoniche *185*

Capitolo 15 – Reazioni chimiche 191

Come si scrivono le reazioni chimiche 192
Reazioni irreversibili e reversibili 193
Bilanciamento delle reazioni chimiche 195
Calcoli stechiometrici 197
Reagenti limitanti 199
Tipologie di reazioni chimiche 200
Numero di ossidazione degli atomi nei composti .. 201
Reazioni di ossidoriduzione (redox) 204

Capitolo 16 – Cinetica chimica ed equilibrio 209

Velocità di reazione 210
Ordine di reazione 210
Determinazione della costante di velocità k 212

Le teorie delle collisioni e dello stato di transizione 213
I catalizzatori 215
Reazioni reversibili 216
Equilibrio chimico 217

Capitolo 17 – Equilibrio chimico e termodinamica 221

Equilibrio chimico in fase omogenea 222
Equilibrio chimico in fase eterogenea 222
Significato della costante di equilibrio 223
Principio dell'equilibrio mobile 223
Variazione di K_{eq} con la temperatura: entalpia H ed equazione di van't Hoff 225
L'entropia S 226
L'energia libera G 227
Energia libera G e K_{eq} 229
Equilibri multipli 231
Diagramma di reazione 232
Catalizzatori ed equilibrio 234

Capitolo 18 – Acidi e basi 237

Acidi e basi: la teoria di Arrhenius 237
Acidi e basi secondo Brønsted e Lowry 240
Acidi e basi secondo Lewis 240
Teoria di Brønsted e Lowry: coppie coniugate acido-base 241
La dissociazione dell'acqua 245
Prodotto ionico dell'acqua 246
L'operatore algebrico p: il pH 248

Capitolo 19 – Forza degli acidi e delle basi 251

Forza relativa di un acido o di una base in ambiente acquoso 253
Relazione fra la forza di un acido e quella della sua base coniugata 254
Acidi poliprotici 255
Basi poliprotiche 257
Fattori che influenzano la forza degli acidi e delle basi 258
Idracidi H-X 258
Ossiacidi 259
Effetto della risonanza 260
Effetto della carica dell'acido e della base 261

Capitolo 20 – Calcolo del pH di soluzioni di acidi,basi e sali 263

pH di acidi e basi forti 263
pH di soluzioni di acidi e basi forti poliprotici 265
pH di soluzioni di acidi e basi deboli 265
Diluizione di soluzioni acide e cambiamenti di pH 268
Reazione di neutralizzazione 268
pH di soluzioni di sali di varia natura 268
pH di soluzioni di sali neutri 269
pH di soluzioni di sali acidi 269
Sali basici 271
Sali di acidi deboli e basi deboli 272

Capitolo 21 – Equilibri ionici di sali poco solubili 275

Sali poco solubili 275
Il prodotto di solubilità 275
Relazione tra coefficiente di solubilità s e K_{ps} 278
Effetto di altri soluti sulla solubilità 280
Effetto dello ione comune 281
Effetto del pH sulla solubilità 282

Capitolo 22 – Soluzioni tampone 285

Soluzione tampone costituita da un acido debole e da un suo sale con una base forte 285
Variazioni del pH di una soluzione tampone dopo l'aggiunta di un acido forte 287
Variazioni del pH di una soluzione tampone dopo l'aggiunta di una base forte 288
Soluzione tampone costituita da una base debole e da un suo sale con un acido forte 290
Potere tampone 292
Soluzione tampone costituita da acidi poliprotici e sali corrispondenti 293
Sistemi tampone dei fluidi biologici 294
Sistema tampone bicarbonato/ anidride carbonica 295
Emoglobina 297
Sistema tampone fosfato 298

Capitolo 23 – Titolazioni acido-base 299

Punto di equivalenza ed equivalenti 299
Titolazione di un acido forte con base forte 300
Titolazione di un acido debole con base forte 301
Indicatori di pH 304

Capitolo 24 – Reazioni di ossidoriduzione e pile 307

Reazioni redox in soluzione acquosa 307
Gli equilibri redox 310
La pila Daniell 311
Equilibri della pila Daniell 314
Potenziali di riduzioni standard 316
Tabella dei potenziali standard di riduzione 318
Significato dei potenziali di riduzione standard 320

Pila costruita con due elettrodi di potenziale positivo *321*
Pila costituita da due elettrodi con E_0 negativo .. *322*
Previsione delle reali reazioni redox *322*

Capitolo 25 – Energia delle reazioni di ossidoriduzione ed equazione di Nernst 325

Differenza di potenziale di una pila, energia libera ed equilibri redox 325
Equazione di Nernst 327
Potenziale di riduzione di singoli elettrodi in condizioni non-standard 328
Potenziale di una pila in condizioni non-standard ... 329
Pile a concentrazione 331
Potenziali di riduzione in soluzioni neutre 332
Il piaccametro (pH-metro): misura del pH 333

Capitolo 26 – Composti di coordinazione 335

Composti di coordinazione 336
Gli acquoioni 336
Metalli di transizione e complessi 336
Struttura dei leganti 338
Leganti polidentati o chelanti 339
Numero di coordinazione e geometria del complesso 341
Composti di coordinazione del ferro 343
L'emoglobina 344
Altri composti di coordinazione di interesse biologico 345

Elementi di chimica organica . 347

Capitolo 27 – Idrocarburi saturi 353

Alcani 353
Isomeria 355
Isomeria strutturale *356*
Stereoisomeria *358*
Cicloalcani 362
Idrocarburi policiclici *363*

Capitolo 28 – Idrocarburi insaturi 365

Alcheni 365
Cicloalcheni 367
Dieni ciclici 368
Benzene 369
Il benzene, capostipite dei composti aromatici .. *371*
Metilbenzeni *371*
Idrocarburi aromatici policiclici 372

Capitolo 29 – Composti organici contenenti gruppi funzionali 375

Alcoli 375
Tioalcoli 378
Composti carbonilici 379
Tautomeria di composti carbonilici *380*
Acidi carbossilici 380
Ammine 382
Acidi e basi organiche 383
Derivati del benzene contenenti gruppi funzionali . 386
Composti aromatici eterociclici 388

Capitolo 30 – Composti polifunzionali ... 391

Stereoisomeria dei composti polifunzionali: la gliceraldeide 392
D- e L-amminoacidi 395
Composti polifunzionali contenenti almeno due centri stereogenici 396
D-aldosi e D-gliceraldeide *397*
Acidi bi- e tricarbossilici 399

Capitolo 31 – Reattività dei composti organici 403

Elettrofili e nucleofili 403
Reattività dei composti organici contenenti legami semplici σ 404
Reazioni radicaliche 406
Reazioni di sostituzione nucleofila 407
Reattività dei composti organici contenenti legami π 409

Capitolo 32 – Reazioni delle principali classi di composti organici 411

Reazioni degli alcani 411
La combustione *411*
Sostituzione radicalica *412*
Reazioni degli alcheni: reazione di somma elettrofila 414
Meccanismo della reazione di somma elettrofila: idratazione di un alchene *414*
Reversibilità della reazione di idratazione: disidratazione degli alcoli *416*
Una reazione di idratazione nel ciclo di Krebs .. *417*
Reazioni dei composti carbonilici: reazione di somma 418
Reazioni delle ammine: alchilazione e metilazione . 419

Capitolo 33 – Reattività di composti aromatici 423

La particolare reattività del benzene 423

Reattività di derivati monosostituiti del benzene . 426
Effetto induttivo del sostituente *427*

Capitolo 34 – Reazioni di ossidoriduzione in chimica organica 429

Combustione degli alcani 430
Deidrogenazione di un alcano: ossidazione ad alchene 430
Ossidazione di un alcano ad alcol 432
Idrogenazione (riduzione) di un alchene 433
Idratazione di un alchene ad alcol 434
Ossidazione degli alcoli 434
Ossidazione dei tioalcoli 435
Riduzione dei composti carbonilici 435
Ossidazione di una aldeide ad acido carbossilico .. 437
Ossidazione del fenolo 438
Reazioni di ossidazione nel ciclo di Krebs 439

Capitolo 35 – Reazioni tra gruppi funzionali 441

Reazioni intermolecolari tra gruppi funzionali uguali 441
Reazioni intermolecolari tra gruppi funzionali diversi 443
Anidridi miste *444*
Esteri e tioesteri *444*
Ammidi *447*
Reazioni intramolecolari 447

Le biomolecole 451

Capitolo 36 – Lipidi semplici: i triacilgliceroli 457

Gli acidi grassi 459
Acidi grassi saturi *459*
Acidi grassi insaturi *460*
Triacilgliceroli 462
Idrolisi dei trigliceridi 463
Anioni di acidi grassi e micelle 466

Capitolo 37 – Lipidi complessi: i glicerofosfolipidi 471

Fosfatidiletanolammina 473
Fosfatidilcolina 474
La chimica sopramolecolare 475
Aggregati sopramolecolari di fosfolipidi 476

Capitolo 38 – Carboidrati: i monosaccaridi 479

Aldotrioso e chetotrioso 480
Aldotetrosi 480
Aldopentosi: forme aperte e forme cicliche 483
Aldopentosi in forma chiusa *483*
Aldoesosi: forme aperte e forme cicliche 485
Un chetoesoso: il D-fruttosio 488
Reazioni dei monosaccaridi 488
Reazioni di ossidazione del glucopiranosio *489*
Riduzione del glucopiranosio *491*

Capitolo 39 – Il legame glicosidico: disaccaridi e polisaccaridi 493

Disaccaridi del glucopiranosio 496
Maltosio (legame 1α,4-glicosidico) *496*
Cellobiosio (legame 1β,4-glicosidico) *497*
Lattosio *498*
Saccarosio *499*
Polisaccaridi 500
Polisaccaridi lineari *500*
Polisaccaridi ramificati *502*

Capitolo 40 – Nucleosidi, nucleotidi e trifosfati nucleosidici 505

Struttura delle basi azotate 505
I nucleosidi 506
I nucleotidi 510
Dinucleotidi 511
Difosfati e trifosfati di nucleosidi 512
Adenosina difosfato (ADP) *513*
Adenosina trifosfato (ATP) *516*

Capitolo 41 – Amminoacidi e peptidi 521

L-Amminoacidi 522
Soluzione acquosa di amminoacidi 524
Punto isoionico (pI) 525
Formazione del legame ammidico tra due amminoacidi 528
Peptidi 531
Idrolisi del legame ammidico 533

Capitolo 42 – ATP e biosintesi dei principali legami 535

Sintesi del tioestere acil-CoA 536
Biosintesi del legame peptidico 538
Sintesi dell'anidride mista (prima sostituzione nucleofila) *539*
Legame dell'amminoacido all'RNA (seconda sostituzione nucleofila) *540*
Sintesi del legame ammidico (terza sostituzione nucleofila) *540*
Biosintesi del legame diestere 3',5'-fosforico 541
Biosintesi del legame glucosidico 543

Capitolo 43 – Le macromolecole della vita 545

Acidi nucleici: RNA e DNA.....545
Struttura primaria 545
Struttura secondaria e terziaria di RNA.....546
Struttura secondaria del DNA 547
Proteine 550
Struttura primaria 551
Struttura secondaria 554
Stato colloidale delle proteine 555
Denaturazione delle proteine.....556
Struttura terziaria 557
Interazioni intermolecolari deboli e struttura terziaria.....559
Struttura quaternaria 560

Capitolo 44 – Enzimi e reazioni enzimatiche 563

Catalisi enzimatica e struttura del sito attivo 566
Meccanismo delle reazioni enzimatiche 566
Confronto tra una reazione chimica e una enzimatica: idratazione di un doppio legame ...568
Reazione chimica.....569
Reazione catalizzata da un enzima 569
Applicazioni biochimico-cliniche di reazioni enzimatiche 572

Tavola periodica degli elementi 575
Gli elementi..... 576

Indice analitico 577