

# Indice

## xv **PREFAZIONE**

### **1**

#### **1 LA STRUTTURA E IL LEGAME**

- 3 1.1. La struttura atomica: il nucleo
- 3 1.2. La struttura atomica: gli orbitali
- 5 1.3. La struttura atomica: le configurazioni elettroniche
- 6 1.4. Lo sviluppo della teoria del legame chimico
- 9 1.5. La natura dei legami chimici: la teoria del legame di valenza
- 10 1.6. Gli orbitali ibridi  $sp^3$  e la struttura del metano
- 11 1.7. Gli orbitali ibridi  $sp^3$  e la struttura dell'etano
- 12 1.8. Gli orbitali ibridi  $sp^2$  e la struttura dell'etilene
- 15 1.9. Gli orbitali ibridi  $sp$  e la struttura dell'acetilene
- 16 1.10. L'ibridazione dell'azoto, dell'ossigeno, del fosforo e dello zolfo
- 18 1.11. La natura dei legami chimici: la teoria degli orbitali molecolari
- 19 1.12. Disegnare le strutture chimiche

**QUALCOSA IN PIÙ SU...** I prodotti chimici, la tossicità e i rischi, 22

*Riepilogo, 23* ♦ *Parole chiave, 23* ♦ *Risolvere i problemi, 23* ♦ *Problemi, 24*

### **2**

#### **27 I LEGAMI COVALENTI POLARI; GLI ACIDI E LE BASI**

- 27 2.1. I legami covalenti polari: l'elettronegatività
- 29 2.2. I legami covalenti polari: i momenti di dipolo
- 31 2.3. Le cariche formali
- 34 2.4. La risonanza
- 35 2.5. Le regole per le forme di risonanza
- 37 2.6. Disegnare le forme di risonanza
- 39 2.7. Gli acidi e le basi: la definizione di Brønsted–Lowry
- 40 2.8. La forza degli acidi e delle basi
- 42 2.9. Prevedere le reazioni acido–base dai valori di  $pK_a$

44 **2.10.** Gli acidi organici e le basi organiche

Gli acidi organici, 44; Le basi organiche, 45

46 **2.11.** Gli acidi e le basi: la definizione di Lewis

Gli acidi di Lewis e la notazione delle frecce curve, 46; Le basi di Lewis, 47

49 **2.12.** Le interazioni non covalenti tra le molecole**QUALCOSA IN PIÙ SU...** Gli alcaloidi: basi presenti in natura, 51*Riepilogo, 52* ♦ *Parole chiave, 52* ♦ *Problemi, 53***3**57 **I COMPOSTI ORGANICI: GLI ALCANI E LA LORO STEREOCHIMICA**57 **3.1.** I gruppi funzionali

I gruppi funzionali contenenti legami multipli carbonio-carbonio, 60; I gruppi funzionali contenenti un carbonio legato con legame semplice a un atomo elettronegativo, 60; I gruppi funzionali contenenti un doppio legame carbonio-ossigeno (gruppo carbonilico), 61

63 **3.2.** Gli alcani e gli isomeri degli alcani66 **3.3.** I gruppi alchilici69 **3.4.** La nomenclatura degli alcani74 **3.5.** Le proprietà degli alcani75 **3.6.** Le conformazioni dell'etano77 **3.7.** Le conformazioni degli altri alcani**QUALCOSA IN PIÙ SU...** La benzina, 81*Riepilogo, 82* ♦ *Parole chiave, 82* ♦ *Problemi, 82***4**85 **I COMPOSTI ORGANICI: I CICLOALCANI E LA LORO STEREOCHIMICA**86 **4.1.** La nomenclatura dei cicloalcani88 **4.2.** L'isomeria cis-trans nei cicloalcani90 **4.3.** La stabilità dei cicloalcani: la tensione d'anello92 **4.4.** Le conformazioni dei cicloalcani

Il ciclopropano, 92; Il ciclobutano, 92; Il ciclopentano, 93

94 **4.5.** Le conformazioni del cicloesano95 **4.6.** I legami assiali ed equatoriali nel cicloesano99 **4.7.** Le conformazioni dei cicloesani monosostituiti100 **4.8.** Le conformazioni dei cicloesani disostituiti103 **4.9.** Le conformazioni delle molecole policicliche**QUALCOSA IN PIÙ SU...** La meccanica molecolare, 105*Riepilogo, 105* ♦ *Parole chiave, 106* ♦ *Problemi, 106***5**109 **UNA PANORAMICA SULLE REAZIONI ORGANICHE**109 **5.1.** I principali tipi di reazioni organiche110 **5.2.** I modi in cui le reazioni avvengono: i meccanismi di reazione

- 111 **5.3.** Le reazioni radicaliche
- 113 **5.4.** Le reazioni polari
- 117 **5.5.** Un esempio di reazione polare: l'addizione di H<sub>2</sub>O all'etilene
- 120 **5.6.** L'impiego delle frecce curve nei meccanismi delle reazioni polari
- 123 **5.7.** La descrizione delle reazioni: gli equilibri, le velocità e i cambiamenti energetici
- 126 **5.8.** La descrizione delle reazioni: le energie di dissociazione del legame
- 128 **5.9.** La descrizione delle reazioni: i diagrammi energetici e gli stati di transizione
- 130 **5.10.** La descrizione delle reazioni: gli intermedi
- 132 **5.11.** Un confronto tra le reazioni biologiche e le reazioni di laboratorio

**QUALCOSA IN PIÙ SU...** Da dove vengono i farmaci?, 135

*Riepilogo, 136* ♦ *Parole chiave, 136* ♦ *Problemi, 136*

## 6

### 140 **GLI ALCENI E GLI ALCHINI**

- 140 **6.1.** Il calcolo del grado di insaturazione
- 142 **6.2.** La nomenclatura degli alcheni e degli alchini
- 145 **6.3.** L'isomeria cis-trans negli alcheni
- 147 **6.4.** Le regole di sequenza: la notazione *E,Z*
- 150 **6.5.** La stabilità degli alcheni
- 152 **6.6.** Le reazioni di addizione elettrofila degli alcheni
- Scrivere le reazioni organiche, 154*
- 155 **6.7.** L'orientazione delle addizioni elettrofile: la regola di Markovnikov
- 158 **6.8.** La struttura e la stabilità dei carbocationi
- 160 **6.9.** Il postulato di Hammond
- 162 **6.10.** Le trasposizioni dei carbocationi

**QUALCOSA IN PIÙ SU...** I terpeni, alcheni naturali, 164

*Riepilogo, 165* ♦ *Parole chiave, 165* ♦ *Problemi, 166*

## 7

### 170 **LE REAZIONI DEGLI ALCENI E DEGLI ALCHINI**

- 170 **7.1.** La preparazione degli alcheni: un'anteprima delle reazioni di eliminazione
- 172 **7.2.** L'alogenazione degli alcheni
- 174 **7.3.** Le aloidrine dagli alcheni
- 175 **7.4.** L'idratazione degli alcheni
- 179 **7.5.** La riduzione degli alcheni
- 182 **7.6.** L'ossidazione degli alcheni: l'eossidazione
- 183 **7.7.** L'ossidazione degli alcheni: l'ossidrilazione
- 185 **7.8.** Le addizioni radicaliche agli alcheni: i polimeri
- 189 **7.9.** Le addizioni biologiche di radicali agli alcheni

- 190 7.10. I dieni coniugati  
193 7.11. Le reazioni dei dieni coniugati  
195 7.12. Le reazioni degli alchini  
Le reazioni di addizione degli alchini, 195; L'acidità degli alchini, 196

**QUALCOSA IN PIÙ SU...** La gomma naturale, 198

*Riepilogo*, 198 ♦ *Parole chiave*, 199 ♦ *Imparare le reazioni*, 199 ♦ *Riepilogo delle reazioni*, 199 ♦ *Problemi*, 200

## 8

### 205 I COMPOSTI AROMATICI

- 205 8.1. La nomenclatura dei composti aromatici  
208 8.2. La struttura e la stabilità del benzene  
210 8.3. L'aromaticità e la regola  $4n + 2$  di Hückel  
212 8.4. Gli eterocicli aromatici  
214 8.5. I composti aromatici policiclici  
216 8.6. Le reazioni dei composti aromatici: la sostituzione elettrofila  
L'alogenazione aromatica, 219; La nitratura aromatica, 220; La solfonazione aromatica, 220; L'ossidrilazione aromatica, 221  
223 8.7. L'alchilazione e l'acilazione degli anelli aromatici  
228 8.8. Gli effetti dei sostituenti nelle sostituzioni elettrofile  
Gli effetti attivanti e disattivanti, 229; Gli effetti orientanti: i sostituenti orto- e para-orientanti, 230; Gli effetti orientanti: i sostituenti meta-orientanti, 231; Riepilogo degli effetti dei sostituenti nelle sostituzioni elettrofile, 232  
233 8.9. L'ossidazione e la riduzione dei composti aromatici  
235 8.10. Un'introduzione alla sintesi organica: i benzeni polisostituiti

**QUALCOSA IN PIÙ SU...** La chimica combinatoria, 240

*Riepilogo*, 241 ♦ *Parole chiave*, 241 ♦ *Riepilogo delle reazioni*, 242 ♦ *Problemi*, 242

## 9

### 247 LA STEREOCHIMICA

- 247 9.1. Gli enantiomeri e il carbonio tetraedrico  
249 9.2. La chiralità delle molecole  
252 9.3. L'attività ottica  
254 9.4. La scoperta di Pasteur degli enantiomeri  
254 9.5. Le regole di sequenza per assegnare la configurazione  
259 9.6. I diastereomeri  
261 9.7. I composti meso  
263 9.8. Le miscele racemiche e la risoluzione degli enantiomeri  
265 9.9. Una breve rassegna dell'isomeria  
267 9.10. La stereochimica delle reazioni: l'addizione di  $H_2O$  a un alchene achirale  
268 9.11. La stereochimica delle reazioni: l'addizione di  $H_2O$  a un alchene chirale  
269 9.12. La chiralità all'azoto, al fosforo e allo zolfo

271 9.13. La prochiralità

273 9.14. La chiralità in natura

**QUALCOSA IN PIÙ SU...** I farmaci chirali, 275

*Riepilogo, 276* ♦ *Parole chiave, 276* ♦ *Problemi, 276*

## 10

281 **GLI ALOGENURI ALCHILICI: LE SOSTITUZIONI NUCLEOFILICHE E LE ELIMINAZIONI**

281 10.1. La nomenclatura degli alogenuri alchilici

283 10.2. La preparazione degli alogenuri alchilici

284 10.3. Le reazioni degli alogenuri alchilici: i reattivi di Grignard

285 10.4. La scoperta della reazione di sostituzione nucleofila

288 10.5. La reazione  $S_N2$

290 10.6. Le caratteristiche della reazione  $S_N2$

Il substrato: gli effetti sterici nella reazione  $S_N2$ , 291; Il nucleofilo, 292; Il gruppo uscente, 293; Il solvente, 294; Riepilogo delle caratteristiche della reazione  $S_N2$ , 295

296 10.7. La reazione  $S_N1$

300 10.8. Le caratteristiche della reazione  $S_N1$

Il substrato, 300; Il gruppo uscente, 301; Il nucleofilo, 302; Il solvente, 302; Riepilogo delle caratteristiche della reazione  $S_N1$ , 303

304 10.9. Le reazioni di sostituzione biologiche

306 10.10. Le reazioni di eliminazione: la regola di Zaitsev

309 10.11. La reazione E2

312 10.12. Le reazioni E1 e E1cB

La reazione E1, 312; La reazione E1cB, 313

314 10.13. Le reazioni di eliminazione biologiche

314 10.14. Un riepilogo della reattività:  $S_N1$ ,  $S_N2$ , E1, E1cB e E2

**QUALCOSA IN PIÙ SU...** Gli organoalogenuri di origine naturale, 316

*Riepilogo, 317* ♦ *Parole chiave, 317* ♦ *Riepilogo delle reazioni, 317* ♦ *Problemi, 318*

## 11

323 **LA DETERMINAZIONE DELLA STRUTTURA: SPETTROMETRIA DI MASSA, SPETTROSCOPIA INFRAROSSA E ULTRAVIOLETTA**

323 11.1. La spettrometria di massa delle molecole piccole: gli strumenti a settore magnetico

325 11.2. L'interpretazione degli spettri di massa

329 11.3. La spettrometria di massa di alcuni gruppi funzionali comuni

Gli alcoli, 329; Le ammine, 329; I composti carbonilici, 329

331 11.4. La spettrometria di massa in chimica biologica: gli strumenti a tempo di volo (TOF)

332 11.5. La spettroscopia e lo spettro elettromagnetico

335 11.6. La spettroscopia infrarossa

- 336 11.7. L'interpretazione degli spettri infrarossi
- 339 11.8. Gli spettri infrarossi di alcuni gruppi funzionali comuni  
Gli alcani, 339; Gli alcheni, 340; Gli alchini, 340; I composti aromatici, 340; Gli alcoli, 341; Le ammine, 341; I composti carbonilici, 341
- 343 11.9. La spettroscopia ultravioletta
- 345 11.10. L'interpretazione degli spettri ultravioletti: l'effetto della coniugazione
- 346 11.11. La coniugazione, il colore e la chimica della visione
- QUALCOSA IN PIÙ SU...** La cromatografia: la purificazione dei composti organici, 348  
*Riepilogo, 349* ♦ *Parole chiave, 350* ♦ *Problemi, 350*

## 12

### 355 LA DETERMINAZIONE DELLA STRUTTURA: LA SPETTROSCOPIA DI RISONANZA MAGNETICA NUCLEARE

- 355 12.1. La spettroscopia di risonanza magnetica nucleare
- 357 12.2. La natura degli assorbimenti NMR
- 360 12.3. Gli spostamenti chimici
- 361 12.4. La spettroscopia  $^{13}\text{C}$  NMR: la mediazione del segnale e la FT-NMR
- 363 12.5. Le caratteristiche della spettroscopia  $^{13}\text{C}$  NMR
- 365 12.6. La spettroscopia DEPT  $^{13}\text{C}$  NMR
- 368 12.7. Gli impieghi della spettroscopia  $^{13}\text{C}$  NMR
- 369 12.8. La spettroscopia  $^1\text{H}$  NMR e l'equivalenza dei protoni
- 371 12.9. Gli spostamenti chimici nella spettroscopia  $^1\text{H}$  NMR
- 373 12.10. L'integrazione degli assorbimenti  $^1\text{H}$  NMR: il computo dei protoni
- 374 12.11. La suddivisione spin-spin negli spettri  $^1\text{H}$  NMR
- 379 12.12. Schemi più complessi di suddivisione spin-spin
- 380 12.13. Usi della spettroscopia  $^1\text{H}$  NMR

**QUALCOSA IN PIÙ SU...** La risonanza magnetica per immagini (MRI), 382  
*Riepilogo, 382* ♦ *Parole chiave, 383* ♦ *Problemi, 383*

## 13

### 390 GLI ALCOLI, I FENOLI E I TIOLI; GLI ETERI E I SOLFURI

- 391 13.1. La nomenclatura degli alcoli, dei fenoli e dei tioli
- 393 13.2. Le proprietà degli alcoli, dei fenoli e dei tioli
- 396 13.3. La preparazione degli alcoli a partire dai composti carbonilici  
La riduzione dei composti carbonilici, 397; La reazione di Grignard dei composti carbonilici, 400
- 403 13.4. Le reazioni degli alcoli  
La disidratazione degli alcoli, 403; La conversione degli alcoli in esteri, 406
- 406 13.5. Le ossidazioni degli alcoli e dei fenoli  
L'ossidazione degli alcoli, 406; L'ossidazione dei fenoli: i chinoni, 409
- 410 13.6. La preparazione e le reazioni dei tioli

- 411 **13.7.** Gli eteri e i solfuri
- 412 **13.8.** La preparazione degli eteri
- 414 **13.9.** Le reazioni degli eteri
- 415 **13.10.** La preparazione e le reazioni dei solfuri
- 417 **13.11.** La spettroscopia degli alcoli, dei fenoli e degli eteri
- La spettroscopia infrarossa, 417; La spettroscopia di risonanza magnetica nucleare, 417; La spettrometria di massa, 418

**QUALCOSA IN PIÙ SU...** L'etanolo: prodotto chimico, farmaco e veleno, 419

*Riepilogo*, 420 ♦ *Parole chiave*, 420 ♦ *Riepilogo delle reazioni*, 421 ♦ *Problemi*, 422

## 428 UN'ANTEPRIMA DELLA CHIMICA DEL CARBONILE

- 428 **I.** I tipi di composti carbonilici
- 430 **II.** La natura del gruppo carbonilico
- 430 **III.** Le reazioni generali dei composti carbonilici
- Le reazioni di addizione nucleofila delle aldeidi e dei chetoni (capitolo 14), 430; Le reazioni di sostituzione nucleofila acilica dei derivati degli acidi carbossilici (capitolo 16), 431; Le reazioni di sostituzione in alfa (capitolo 17), 432; Le reazioni di condensazione carbonilica (capitolo 17), 434
- 435 **IV.** Riepilogo
- Problemi*, 435

## 14

### 436 LE ALDEIDI E I CHETONI: LE REAZIONI DI ADDIZIONE NUCLEOFILA

- 436 **14.1.** La nomenclatura delle aldeidi e dei chetoni
- 438 **14.2.** La preparazione delle aldeidi e dei chetoni
- 439 **14.3.** L'ossidazione delle aldeidi
- 440 **14.4.** Le reazioni di addizione nucleofila delle aldeidi e dei chetoni
- 442 **14.5.** L'addizione nucleofila di H<sub>2</sub>O: l'idratazione
- 444 **14.6.** L'addizione nucleofila dei reattivi di Grignard e degli idruri: la formazione degli alcoli
- 445 **14.7.** L'addizione nucleofila di ammine: la formazione delle immine e delle enammine
- 449 **14.8.** L'addizione nucleofila degli alcoli: la formazione degli acetali
- 452 **14.9.** L'addizione nucleofila delle ilidi di fosforo: la reazione di Wittig
- 454 **14.10.** Le riduzioni biologiche
- 456 **14.11.** L'addizione nucleofila coniugata alle aldeidi e ai chetoni  $\alpha,\beta$ -insaturi
- L'addizione coniugata delle ammine, 457; L'addizione coniugata di acqua, 457
- 458 **14.12.** La spettroscopia delle aldeidi e dei chetoni
- La spettroscopia infrarossa, 458; La spettroscopia di risonanza magnetica nucleare, 459; La spettrometria di massa, 460

**QUALCOSA IN PIÙ SU...** Le sintesi enantioselettive, 462

*Riepilogo*, 463 ♦ *Parole chiave*, 463 ♦ *Riepilogo delle reazioni*, 463 ♦ *Problemi*, 464

**15****470 GLI ACIDI CARBOSSILICI E I NITRILI****471 15.1.** La nomenclatura degli acidi carbossilici e dei nitrili

Gli acidi carbossilici,  $\text{RCO}_2\text{H}$ , 471; I nitrili,  $\text{RC}\equiv\text{N}$ , 471

**473 15.2.** Le strutture e le proprietà degli acidi carbossilici**475 15.3.** Gli acidi biologici e l'equazione di Henderson–Hasselbalch**477 15.4.** L'effetto dei sostituenti sull'acidità**478 15.5.** La preparazione degli acidi carbossilici

L'idrolisi dei nitrili, 478; La carbossilazione dei reattivi di Grignard, 479

**480 15.6.** Le reazioni degli acidi carbossilici: un quadro generale**481 15.7.** La chimica dei nitrili

La preparazione dei nitrili, 482; Le reazioni dei nitrili, 482

**484 15.8.** La spettroscopia degli acidi carbossilici e dei nitrili

La spettroscopia infrarossa, 484; La spettroscopia di risonanza magnetica nucleare, 484

**QUALCOSA IN PIÙ SU...** La vitamina C, 485

*Riepilogo*, 486 ♦ *Parole chiave*, 487 ♦ *Riepilogo delle reazioni*, 487 ♦ *Problemi*, 488

**16****494 I DERIVATI DEGLI ACIDI CARBOSSILICI: LE REAZIONI DI SOSTITUZIONE NUCLEOFILA ACILICA****494 16.1.** La nomenclatura dei derivati degli acidi carbossilici

Gli alogenuri acilici,  $\text{RCOX}$ , 494; Le anidridi,  $\text{RCO}_2\text{COR}'$ , 495; Le ammidi,  $\text{RCONH}_2$ , 495; Gli esteri,  $\text{RCO}_2\text{R}'$ , 496; I tioesteri,  $\text{RCOSR}'$ , 496; Gli acil fosfati,  $\text{RCO}_2\text{PO}_3^{2-}$  e  $\text{RCO}_2\text{PO}_3\text{R}'^-$ , 496

**498 16.2.** Le reazioni di sostituzione nucleofila acilica

La reattività relativa dei derivati degli acidi carbossilici, 499

**502 16.3.** Le reazioni di sostituzione nucleofila acilica degli acidi carbossilici

La conversione degli acidi carbossilici in cloruri acilici, 502; La conversione degli acidi carbossilici in anidridi, 503; La conversione degli acidi carbossilici in esteri, 503; La conversione degli acidi carbossilici in ammidi, 505; La conversione degli acidi carbossilici in alcoli, 505; Le conversioni biologiche degli acidi carbossilici, 508

**508 16.4.** La chimica degli alogenuri acilici

La conversione degli alogenuri acilici in acidi: l'idrolisi, 508; La conversione degli alogenuri acilici in anidridi, 508; La conversione degli alogenuri acilici in esteri: l'alcolisi, 509; La conversione degli alogenuri acilici in ammidi: l'amminolisi, 510

**510 16.5.** La chimica delle anidridi**512 16.6.** La chimica degli esteri

La conversione degli esteri in acidi carbossilici: l'idrolisi, 512; La conversione degli esteri in ammidi: l'amminolisi, 514; La conversione degli esteri in alcoli: la riduzione e la reazione di Grignard, 514

**516 16.7.** La chimica delle ammidi

La conversione delle ammidi in acidi carbossilici: l'idrolisi, 517; La conversione delle ammidi in ammine: la riduzione, 518

**519 16.8.** La chimica dei tioesteri e degli acil fosfati: i derivati biologici degli acidi carbossilici



520 **16.9.** Le poliammidi e i poliesteri: i polimeri con crescita a stadi

Le poliammidi (i nylon), 521; I poliesteri, 521; I polimeri per suture e i polimeri biodegradabili, 522

523 **16.10.** La spettroscopia dei derivati degli acidi carbossilici

La spettroscopia infrarossa, 523; La spettroscopia di risonanza magnetica nucleare, 524

**QUALCOSA IN PIÙ SU...** Gli antibiotici  $\beta$ -lattamici, 525

*Riepilogo*, 525 ♦ *Parole chiave*, 526 ♦ *Riepilogo delle reazioni*, 526 ♦ *Problemi*, 527

**17**532 **LE REAZIONI DI SOSTITUZIONE IN ALFA AL CARBONILE E DI CONDENSAZIONE**533 **17.1.** La tautomeria cheto–enolica535 **17.2.** La reattività degli enoli: le reazioni di sostituzione in  $\alpha$ 538 **17.3.** L'acidità degli atomi di idrogeno in  $\alpha$ : la formazione degli ioni enolato541 **17.4.** L'alchilazione degli ioni enolato

La sintesi malonica, 542; La sintesi acetacetica, 545; L'alchilazione diretta dei chetoni, degli esteri e dei nitrili, 547; Le alchilazioni biologiche, 549

550 **17.5.** Le condensazioni carboniliche: la reazione aldolica

Confronto tra condensazione carbonilica e sostituzione in  $\alpha$ , 552

553 **17.6.** La disidratazione dei prodotti aldolici555 **17.7.** Le reazioni aldoliche intramolecolari557 **17.8.** La reazione di condensazione di Claisen559 **17.9.** Le condensazioni di Claisen intramolecolari561 **17.10.** Le addizioni dei carbonili coniugati: la reazione di Michael563 **17.11.** Le condensazioni carboniliche con le enammine: la reazione di Stork565 **17.12.** Alcune reazioni di condensazione carbonilica di interesse biologico

Le reazioni aldoliche biologiche, 565; Le condensazioni di Claisen biologiche, 567

**QUALCOSA IN PIÙ SU...** La cristallografia ai raggi X, 567

*Riepilogo*, 568 ♦ *Parole chiave*, 569 ♦ *Riepilogo delle reazioni*, 569 ♦ *Problemi*, 570

**18**575 **LE AMMINE E GLI ETEROCICLI**575 **18.1.** La nomenclatura delle ammine578 **18.2.** Le proprietà delle ammine579 **18.3.** La basicità delle ammine582 **18.4.** La basicità delle arilammine583 **18.5.** Le ammine biologiche e l'equazione di Henderson–Hasselbalch584 **18.6.** La sintesi delle ammine

La riduzione dei nitrili, delle ammidi e dei nitrocomposti, 584; Le reazioni  $S_N2$  degli alogenuri alchilici, 585; L'aminazione riduttiva delle aldeidi e dei chetoni, 586

588 **18.7.** Le reazioni delle ammine

L'alchilazione e l'acilazione, 588; L'eliminazione di Hofmann, 589; La sostituzione elettrofila aromatica, 590

592 **18.8.** Le ammine eterocicliche

Il pirrolo e l'imidazolo, 592; La piridina e la pirimidina, 594

596 **18.9.** Gli eterocicli ad anelli condensati

598 **18.10.** La spettroscopia delle ammine

La spettroscopia infrarossa, 598; La spettroscopia di risonanza magnetica nucleare, 598; La spettrometria di massa, 599

**QUALCOSA IN PIÙ SU...** La chimica verde, 600

*Riepilogo*, 601 ♦ *Parole chiave*, 601 ♦ *Riepilogo delle reazioni*, 602 ♦ *Problemi*, 602

## 19

607 **LE BIOMOLECOLE: AMMINOACIDI, PEPTIDI E PROTEINE**

607 **19.1.** La struttura degli amminoacidi

612 **19.2.** Il punto isoelettrico

614 **19.3.** La sintesi degli amminoacidi

La sintesi ammidomalonata, 614; L'amminazione riduttiva, 614; La sintesi enantioselettiva, 614

615 **19.4.** I peptidi e le proteine

617 **19.5.** L'analisi amminoacidica dei peptidi

618 **19.6.** Il sequenziamento dei peptidi: la degradazione di Edman

621 **19.7.** La sintesi dei peptidi

624 **19.8.** La struttura proteica

627 **19.9.** Gli enzimi e i coenzimi

629 **19.10.** Come funzionano gli enzimi? La citrato sintasi

**QUALCOSA IN PIÙ SU...** La banca dati delle proteine, 633

*Riepilogo*, 634 ♦ *Parole chiave*, 634 ♦ *Riepilogo delle reazioni*, 634 ♦ *Problemi*, 635

## 20

639 **IL METABOLISMO DEGLI AMMINOACIDI**

639 **20.1.** Una panoramica su metabolismo ed energia biochimica

643 **20.2.** Il catabolismo degli amminoacidi: la deamminazione

La transaminazione, 643; La rigenerazione di PLP da PMP, 646; La deamminazione ossidativa del glutammato, 647

647 **20.3.** Il ciclo dell'urea

652 **20.4.** Il catabolismo degli amminoacidi: le catene carboniose

Il catabolismo dell'alanina, 653; Il catabolismo della serina, 653; Il catabolismo dell'asparagina e dell'aspartato, 654; Il catabolismo dell'istidina, 654

657 **20.5.** La biosintesi degli amminoacidi

La biosintesi dell'alanina, dell'aspartato e del glutammato, 659; La biosintesi dell'asparagina e della glutammina, 659; La biosintesi dell'arginina e della prolina, 660; La biosintesi della treonina, 661

**QUALCOSA IN PIÙ SU...** Visualizzare la struttura degli enzimi, 663

*Riepilogo*, 664 ♦ *Parole chiave*, 664 ♦ *Problemi*, 665

**21****667 LE BIOMOLECOLE: I CARBOIDRATI**

668 21.1. La classificazione dei carboidrati

669 21.2. La stereochimica dei carboidrati: le proiezioni di Fischer

672 21.3. Gli zuccheri D e L

674 21.4. Le configurazioni degli aldosi

676 21.5. Le strutture cicliche dei monosaccaridi: gli anomeri

680 21.6. Le reazioni dei monosaccaridi

La formazione di esteri e di eteri, 680; La formazione di glicosidi, 681; La formazione biologica di esteri: la fosforilazione, 682; La riduzione dei monosaccaridi, 682; L'ossidazione dei monosaccaridi, 683

686 21.7. Gli otto monosaccaridi essenziali

687 21.8. I disaccaridi

Il cellobiosio e il maltosio, 687; Il lattosio, 688; Il saccarosio, 688

689 21.9. I polisaccaridi e la loro sintesi

La cellulosa, 689; L'amido e il glicogeno, 689; La sintesi dei polisaccaridi, 691

692 21.10. I carboidrati delle membrane cellulari e i vaccini

**QUALCOSA IN PIÙ SU...** Il sapore dolce, 693

*Riepilogo*, 694 ♦ *Parole chiave*, 695 ♦ *Problemi*, 695

**22****699 IL METABOLISMO DEI CARBOIDRATI**

699 22.1. L'idrolisi dei carboidrati complessi

700 22.2. Il catabolismo del glucosio: la glicolisi

708 22.3. La conversione del piruvato in acetil CoA

712 22.4. Il ciclo dell'acido citrico

717 22.5. La biosintesi del glucosio: la gluconeogenesi

**QUALCOSA IN PIÙ SU...** L'influenza aviaria, 724

*Riepilogo*, 725 ♦ *Parole chiave*, 725 ♦ *Problemi*, 725

**23****729 LE BIOMOLECOLE: I LIPIDI E IL LORO METABOLISMO**

729 23.1. Le cere, i grassi e gli oli

732 23.2. I saponi

734 23.3. I fosfolipidi

735 23.4. Il catabolismo dei triacilgliceroli: il fato del glicerolo

738 23.5. Il catabolismo dei triacilgliceroli: la  $\beta$ -ossidazione

743 23.6. La biosintesi degli acidi grassi

748 23.7. Le prostaglandine e altri eicosanoidi

749 23.8. I terpenoidi

Il processo del mevalonato per la biosintesi del difosfato di isopentenile, 751; La conversione del difosfato di isopentenile in terpenoidi, 755

- 758 **23.9. Gli steroidi**  
Gli ormoni steroidei, 760
- 762 **23.10. La biosintesi degli steroidi**
- QUALCOSA IN PIÙ SU...** I grassi saturi, il colesterolo e le malattie cardiache, 767  
*Riepilogo, 768 ♦ Parole chiave, 768 ♦ Problemi, 769*

## 24

- 772 **LE BIOMOLECOLE: GLI ACIDI NUCLEICI E IL LORO METABOLISMO**
- 772 **24.1. I nucleotidi e gli acidi nucleici**
- 773 **24.2. L'accoppiamento delle basi nel DNA: il modello di Watson–Crick**
- 777 **24.3. La replicazione del DNA**
- 778 **24.4. La trascrizione del DNA**
- 779 **24.5. La traduzione dell'RNA: la biosintesi proteica**
- 782 **24.6. Il sequenziamento del DNA**
- 783 **24.7. La sintesi del DNA**
- 786 **24.8. La reazione a catena della polimerasi**
- 788 **24.9. Il catabolismo dei nucleotidi**  
Il catabolismo delle purine: la guanosina, 788; Il catabolismo delle pirimidine: l'uridina, 790
- 793 **24.10. La biosintesi dei nucleotidi**  
La biosintesi delle pirimidine: l'uridina monofosfato, 793; La biosintesi delle purine: adenosina monofosfato e guanosina monofosfato, 796
- 798 **24.11. Alcune considerazioni finali sul metabolismo**
- QUALCOSA IN PIÙ SU...** L'impronta digitale genetica, 800  
*Riepilogo, 800 ♦ Parole chiave, 801 ♦ Problemi, 801*

## APPENDICI

- 804 **A. LA NOMENCLATURA DEI COMPOSTI ORGANICI POLIFUNZIONALI**
- 810 **B. LE COSTANTI DI ACIDITÀ DI ALCUNI COMPOSTI ORGANICI**
- 812 **RISPOSTE AI PROBLEMI PRESENTATI NEL TESTO**
- 831 **GLOSSARIO**
- 846 **INDICE ANALITICO**