

il **nuovo** concorso  
a cattedra

# Scienze e tecnologie chimiche

Manuale per la preparazione alle prove scritte e orali

Classe di concorso:

**A34** Scienze e tecnologie chimiche | **A013** Chimica e tecnologie chimiche

Stefano D'Errico

III Edizione



Comprende **software**  
per effettuare  
esercitazioni online





# Accedi ai servizi riservati



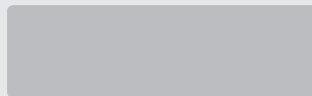
COLLEGATI AL SITO  
**EDISES.IT**

ACCEDI AL  
**MATERIALE DIDATTICO**

SEGUI LE  
**ISTRUZIONI**

Utilizza il codice personale contenuto nel riquadro per registrarti al sito **edises.it** e accedere ai **servizi e contenuti riservati**.

Scopri il tuo **codice personale** grattando delicatamente la superficie



Il volume NON può essere venduto, né restituito, se il codice personale risulta visibile.  
L'**accesso ai servizi riservati** ha la durata di **un anno** dall'attivazione del codice e viene garantito esclusivamente sulle edizioni in corso.

Per attivare i **servizi riservati**, collegati al sito **edises.it** e segui queste semplici istruzioni

## Se sei registrato al sito

- clicca su *Accedi al materiale didattico*
- inserisci email e password
- inserisci le ultime 4 cifre del codice ISBN, riportato in basso a destra sul retro di copertina
- inserisci il tuo **codice personale** per essere reindirizzato automaticamente all'area riservata

## Se non sei già registrato al sito

- clicca su *Accedi al materiale didattico*
- registrati al sito o autenticali tramite facebook
- attendi l'email di conferma per perfezionare la registrazione
- torna sul sito **edises.it** e segui la procedura già descritta per *utenti registrati*



il **nuovo** concorso  
a cattedra

# Scienze e tecnologie **chimiche**

Manuale per la preparazione alle prove scritte e orali

Stefano D'Errico



Il nuovo Concorso a Cattedra – Scienze e tecnologie chimiche – III Edizione  
Copyright © 2019, 2016, 2014, EdISES S.r.l. – Napoli

9 8 7 6 5 4 3 2 1 0  
2023 2022 2021 2020 2019

*Le cifre sulla destra indicano il numero e l'anno dell'ultima ristampa effettuata*

*A norma di legge è vietata la riproduzione,  
anche parziale, del presente volume o  
di parte di esso con qualsiasi mezzo.*

L'Editore

*Autore:*

**Stefano D'Errico**, docente e ricercatore in Chimica Organica presso il Dipartimento di Farmacia dell'Università degli studi di Napoli Federico II.

*Grafica di copertina a cura di*  *curvilinee*

*Progetto grafico:* ProMedia Studio di A. Leano – Napoli

*Fotocomposizione:* doma book di Di Grazia Massimo – Napoli

*Redazione:* EdISES S.r.l.

*Stampato presso* Vulcanica S.r.l. – Nola (NA)

*per conto della* EdISES – Piazza Dante, 89 – Napoli

ISBN 978 88 9362 297 4

**<http://www.edises.it>**  
**e-mail: [info@edises.it](mailto:info@edises.it)**

---

I curatori, l'editore e tutti coloro in qualche modo coinvolti nella preparazione o pubblicazione di quest'opera hanno posto il massimo impegno per garantire che le informazioni ivi contenute siano corrette, compatibilmente con le conoscenze disponibili al momento della stampa; essi, tuttavia, non possono essere ritenuti responsabili dei risultati dell'utilizzo di tali informazioni e restano a disposizione per integrare la citazione delle fonti, qualora incompleta o imprecisa.

Realizzare un libro è un'operazione complessa e nonostante la cura e l'attenzione poste dagli autori e da tutti gli addetti coinvolti nella lavorazione dei testi, l'esperienza ci insegna che è praticamente impossibile pubblicare un volume privo di imprecisioni. Saremo grati ai lettori che vorranno inviarci le loro segnalazioni e/o suggerimenti migliorativi all'indirizzo [redazione@edises.it](mailto:redazione@edises.it)

# Sommario

|                    |                                                                                     |     |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Capitolo 1</b>  | La natura della materia.....                                                        | 1   |
| <b>Capitolo 2</b>  | Lo stato solido e lo stato gassoso .....                                            | 37  |
| <b>Capitolo 3</b>  | Termodinamica.....                                                                  | 61  |
| <b>Capitolo 4</b>  | Lo stato liquido.....                                                               | 71  |
| <b>Capitolo 5</b>  | Cinetica chimica .....                                                              | 89  |
| <b>Capitolo 6</b>  | Equilibrio chimico .....                                                            | 95  |
| <b>Capitolo 7</b>  | Elettrochimica .....                                                                | 111 |
| <b>Capitolo 8</b>  | La sintesi organica.....                                                            | 123 |
| <b>Capitolo 9</b>  | Metodi spettroscopici per la determinazione strutturale dei composti organici ..... | 133 |
| <b>Capitolo 10</b> | La reattività dei gruppi funzionali.....                                            | 141 |
| <b>Capitolo 11</b> | Carboidrati, lipidi e proteine.....                                                 | 175 |
| <b>Capitolo 12</b> | Metabolismo dei carboidrati, dei grassi e delle proteine .....                      | 191 |
| <b>Capitolo 13</b> | La sicurezza nel laboratorio chimico .....                                          | 205 |
| <b>Capitolo 14</b> | Analisi gravimetriche e volumetriche .....                                          | 213 |
| <b>Capitolo 15</b> | Introduzione ai metodi spettroscopici .....                                         | 241 |
| <b>Capitolo 16</b> | La cromatografia.....                                                               | 275 |
| <b>Capitolo 17</b> | Elaborazione dei dati sperimentali .....                                            | 297 |
| <b>Capitolo 18</b> | Tecnologia.....                                                                     | 307 |
| <b>Capitolo 19</b> | Bioenergetica.....                                                                  | 321 |
| <b>Capitolo 20</b> | Tecnologia degli alimenti.....                                                      | 327 |
| <b>Capitolo 21</b> | Tecnologia delle ceramiche .....                                                    | 361 |
| <b>Capitolo 22</b> | Tecnologia odontotecnica.....                                                       | 367 |
| <b>Capitolo 23</b> | Lo scambio di calore nelle apparecchiature chimiche .....                           | 373 |
| <b>Capitolo 24</b> | La distillazione .....                                                              | 385 |
| <b>Capitolo 25</b> | L'evaporazione.....                                                                 | 405 |
| <b>Capitolo 26</b> | L'estrazione .....                                                                  | 413 |
| <b>Capitolo 27</b> | Processi biotecnologici .....                                                       | 437 |
| <b>Capitolo 28</b> | Reattori chimici.....                                                               | 467 |
| <b>Capitolo 29</b> | Catalizzatori .....                                                                 | 477 |
| <b>Capitolo 30</b> | Sistemi automatici di controllo .....                                               | 495 |
| <b>Capitolo 31</b> | Aspetti ecologici ed impatto ambientale della moderna industria chimica.....        | 503 |



## **VI**    **Sommario**

|                    |                                                                                                   |     |
|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Capitolo 32</b> | Il petrolio e i suoi derivati.....                                                                | 511 |
| <b>Capitolo 33</b> | I combustibili liquidi, solidi e gassosi.....                                                     | 517 |
| <b>Capitolo 34</b> | Ghise e acciai.....                                                                               | 525 |
| <b>Capitolo 35</b> | Il sapone e la manifattura dei detergenti.....                                                    | 541 |
| <b>Capitolo 36</b> | Fitosanitari.....                                                                                 | 549 |
| <b>Capitolo 37</b> | Depurazione delle acque .....                                                                     | 553 |
| <b>Capitolo 38</b> | I trigliceridi .....                                                                              | 561 |
| <b>Capitolo 39</b> | La chimica dei polimeri .....                                                                     | 567 |
| <b>Capitolo 40</b> | Introduzione generale alla chimica dei coloranti.....                                             | 573 |
| <b>Capitolo 41</b> | Normativa per la prevenzione degli infortuni e igiene del lavoro nell'industria del settore ..... | 579 |
| <b>Capitolo 42</b> | Rappresentazione degli impianti chimici (Norme UNICHIM dal Manuale n. 6 ed. 1994).....            | 595 |



# Finalità e struttura dell'opera

Il presente lavoro è concepito come supporto per quanti si accingono ad affrontare le prove di selezione del concorso a cattedra e costituisce un valido strumento di consultazione per i futuri docenti nella loro professione.

Il testo presenta una trattazione completa di tutti gli argomenti oggetto del programma d'esame, illustrando leggi, principi e concetti riguardanti sia la chimica generale che le tecnologie chimiche.

Tra i principali argomenti affrontati nel volume:

- *Chimica generale*: struttura dell'atomo e teorie atomiche, tavola periodica degli elementi, principali tipi di legame chimico, teoria degli orbitali molecolari, stati della materia, elettrochimica;
- *Chimica fisica*: termodinamica, cinetica chimica, velocità di reazione e catalisi;
- *Chimica organica*: sintesi organica, gruppi funzionali e meccanismi di reazione;
- *Chimica analitica*: analisi gravimetriche e volumetriche, titolazioni;
- *Chimica analitica strumentale*: spettroscopia, cromatografia, gas cromatografia;
- *Biochimica*: carboidrati, lipidi, proteine e relativo metabolismo, bioenergetica;
- *Chimica dei polimeri*: struttura, proprietà e classificazione;
- *Processi chimici industriali*: distillazione, evaporazione, estrazione, processi biotecnologici, reattori chimici, catalizzatori, sistemi automatici di controllo, petrolio e combustibili;
- *Tecnologie chimiche*: tecnologia degli alimenti, delle ceramiche, odontotecnica;
- *Aspetti normativi*: sicurezza nel laboratorio chimico, prevenzione degli infortuni, igiene del lavoro nell'industria chimica, norme UNICHIM.

Nel volume si propone una modalità di approccio ai contenuti disciplinari che concilia sia l'aspetto formale sia l'aspetto maggiormente pratico e intuitivo.

La speranza e l'augurio per chi legge è quello di aver realizzato un'opera che possa contribuire a formare una classe docente, quella del futuro, in grado di raccogliere la sfida che gli attuali docenti affrontano quotidianamente conseguendo successi significativi nella loro professione, al fine di migliorare la scuola e farne uno strumento non solo di apprendimento, ma anche di crescita civile e sociale.



## VIII Finalità e struttura dell'opera

Questo lavoro, ricco, complesso, denso di rinvii normativi e spunti operativi per l'attività dei futuri insegnanti, tratta materie in continua evoluzione.

Ulteriori materiali didattici e approfondimenti sono disponibili nell'area riservata a cui si accede mediante la registrazione al sito *edises.it* secondo la procedura indicata nel frontespizio del volume.

Altri aggiornamenti sulle procedure concorsuali saranno disponibili sui nostri profili social.

**Facebook.com/ilconcorsoacattedra**

Clicca su  (Facebook) per ricevere gli aggiornamenti  
[www.concorsoacattedra.it](http://www.concorsoacattedra.it)

# Indice

## Capitolo 1 – La natura della materia

|        |                                                     |    |
|--------|-----------------------------------------------------|----|
| 1.1    | L'atomo ed i suoi costituenti .....                 | 1  |
| 1.2    | Numero atomico, numero di massa ed isotopi.....     | 2  |
| 1.3    | Le teorie atomiche .....                            | 3  |
| 1.4    | Gli orbitali atomici.....                           | 9  |
| 1.5    | Le configurazioni elettroniche degli elementi.....  | 11 |
| 1.6    | La tavola periodica e le proprietà periodiche ..... | 12 |
| 1.7    | Metalli, non metalli e semimetalli .....            | 18 |
| 1.8    | Il legame chimico .....                             | 18 |
| 1.8.1  | Il legame ionico.....                               | 19 |
| 1.8.2  | Il legame covalente .....                           | 20 |
| 1.8.3  | L'elettronegatività.....                            | 23 |
| 1.9    | Gli orbitali ibridi.....                            | 24 |
| 1.9.1  | Ibridizzazione $sp^3$ .....                         | 24 |
| 1.9.2  | Ibridizzazione $sp^2$ .....                         | 26 |
| 1.9.3  | Ibridizzazione $sp$ .....                           | 26 |
| 1.9.4  | Altri tipi di orbitali ibridi .....                 | 27 |
| 1.10   | La geometria molecolare e la teoria VSEPR.....      | 27 |
| 1.11   | Il concetto di risonanza.....                       | 28 |
| 1.12   | La teoria degli orbitali molecolari.....            | 30 |
| 1.12.1 | Orbitali molecolari dagli orbitali atomici 2p ..... | 32 |
| 1.13   | I legami deboli.....                                | 34 |
| 1.13.1 | Legame a idrogeno.....                              | 34 |
| 1.13.2 | Forze di van der Waals.....                         | 34 |

## Capitolo 2 – Lo stato solido e lo stato gassoso

|       |                                                    |    |
|-------|----------------------------------------------------|----|
| 2.1   | I solidi: generalità .....                         | 37 |
| 2.2   | Concetti di struttura nei solidi cristallini ..... | 37 |
| 2.3   | Sistemi cristallini.....                           | 39 |
| 2.4   | Il riempimento di una cella elementare .....       | 39 |
| 2.4.1 | Le strutture dei solidi metallici .....            | 41 |
| 2.4.2 | Impaccamento compatto.....                         | 41 |
| 2.4.3 | Le leghe .....                                     | 43 |
| 2.5   | Il legame metallico .....                          | 44 |
| 2.5.1 | Il modello a mare di elettroni.....                | 44 |
| 2.5.2 | Il modello degli orbitali molecolari.....          | 45 |
| 2.6   | I solidi ionici .....                              | 48 |
| 2.6.1 | Le strutture dei solidi ionici .....               | 48 |



## X Indice

|       |                                                 |    |
|-------|-------------------------------------------------|----|
| 2.7   | I solidi molecolari.....                        | 50 |
| 2.8   | I solidi covalenti.....                         | 50 |
| 2.8.1 | I semiconduttori.....                           | 51 |
| 2.8.2 | Il drogaggio dei semiconduttori .....           | 52 |
| 2.9   | Lo stato gassoso: generalità.....               | 53 |
| 2.9.1 | Legge di Boyle.....                             | 53 |
| 2.9.2 | Leggi di Charles-Gay Lussac .....               | 54 |
| 2.9.3 | L'equazione generale di stato dei gas.....      | 55 |
| 2.9.4 | Legge di Dalton.....                            | 56 |
| 2.10  | La teoria cinetica dei gas.....                 | 56 |
| 2.11  | I gas reali. L'equazione di van der Waals ..... | 58 |

### Capitolo 3 – Termodinamica

|      |                                                        |    |
|------|--------------------------------------------------------|----|
| 3.1  | Sistemi, stati e funzioni di stato .....               | 61 |
| 3.2  | Energia interna, lavoro, calore .....                  | 61 |
| 3.3  | Primo principio della termodinamica.....               | 62 |
| 3.4  | La funzione di stato entalpia .....                    | 63 |
| 3.5  | Entalpia di formazione.....                            | 64 |
| 3.6  | Legge di Hess.....                                     | 64 |
| 3.7  | Trasformazioni spontanee e disordine.....              | 65 |
| 3.8  | Processi reversibili ed irreversibili .....            | 65 |
| 3.9  | Entropia e secondo principio della termodinamica ..... | 66 |
| 3.10 | Terzo principio della termodinamica.....               | 67 |
| 3.11 | Variazione di entropia nei sistemi isolati .....       | 68 |
| 3.12 | Energia libera.....                                    | 68 |

### Capitolo 4 – Lo stato liquido

|      |                                                                                        |    |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.1  | I liquidi: generalità .....                                                            | 71 |
| 4.2  | La tensione di vapore e la sua dipendenza dalla temperatura .....                      | 71 |
| 4.3  | Diagramma di stato ad un solo componente.....                                          | 72 |
| 4.4  | Principi generali per la formazione delle soluzioni.....                               | 74 |
| 4.5  | Legge di Henry .....                                                                   | 75 |
| 4.6  | La legge di Raoult. Le proprietà colligative.....                                      | 76 |
| 4.7  | Soluzioni ideali e non ideali. La distillazione frazionata. Miscele azeotropiche ..... | 78 |
| 4.8  | Regola delle fasi.....                                                                 | 80 |
| 4.9  | Curve di raffreddamento. Miscele eutettiche.....                                       | 83 |
| 4.10 | Il potenziale chimico e le soluzioni reali .....                                       | 84 |
| 4.11 | I colloidi e le interfasi.....                                                         | 85 |

### Capitolo 5 – Cinetica chimica

|     |                                                               |    |
|-----|---------------------------------------------------------------|----|
| 5.1 | Cinetica chimica: definizioni e generalità .....              | 89 |
| 5.2 | Velocità di reazione .....                                    | 89 |
| 5.3 | Legge cinetica.....                                           | 90 |
| 5.4 | Legge cinetica integrata.....                                 | 91 |
| 5.5 | Dipendenza della velocità di reazione dalla temperatura ..... | 92 |
| 5.6 | Catalisi e catalizzatori .....                                | 94 |



**Capitolo 6 – Equilibrio chimico**

|      |                                                                            |     |
|------|----------------------------------------------------------------------------|-----|
| 6.1  | Introduzione al concetto di equilibrio .....                               | 95  |
| 6.2  | La costante di equilibrio .....                                            | 95  |
| 6.3  | La costante di equilibrio e le velocità di reazione .....                  | 96  |
| 6.4  | Derivazione termodinamica della costante d'equilibrio .....                | 97  |
| 6.5  | La dipendenza della costante di equilibrio dalla temperatura .....         | 100 |
| 6.6  | Altri fattori che influenzano l'equilibrio chimico .....                   | 100 |
| 6.7  | Gli equilibri ionici acido-base: aspetti generali .....                    | 102 |
| 6.8  | Autoionizzazione dell'acqua .....                                          | 104 |
| 6.9  | Soluzioni acquose contenenti acidi o basi forti, acidi o basi deboli ..... | 105 |
| 6.10 | Soluzioni tampone .....                                                    | 107 |
| 6.11 | Gli ioni come acidi o basi .....                                           | 107 |
| 6.12 | Equilibri di solubilità .....                                              | 108 |

**Capitolo 7 – Elettrochimica**

|       |                                                                                          |     |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 7.1   | Conduzione elettrica e conducibilità delle soluzioni elettrolitiche .....                | 111 |
| 7.2   | Le pile .....                                                                            | 111 |
| 7.3   | Potenziale di un semielemento .....                                                      | 113 |
| 7.3.1 | Potenziale di semielementi in cui l'elettrodo partecipa alla<br>reazione elettrodo ..... | 115 |
| 7.3.2 | Serie dei potenziali normali dei semielementi .....                                      | 116 |
| 7.4   | Equazione di Nernst .....                                                                | 117 |
| 7.5   | Pile di concentrazione .....                                                             | 118 |
| 7.6   | Relazione tra energia libera di reazione e f.e.m. di una pila .....                      | 118 |
| 7.7   | Calcolo del valore della costante di equilibrio di una reazione redox .....              | 119 |
| 7.8   | L'elettrolisi .....                                                                      | 119 |
| 7.8.1 | Aspetti quantitativi dell'elettrolisi .....                                              | 121 |

**Capitolo 8 – La sintesi organica**

|       |                                                            |     |
|-------|------------------------------------------------------------|-----|
| 8.1   | La struttura della molecola “bersaglio” (o “target”) ..... | 123 |
| 8.1.1 | L'isomeria ottica .....                                    | 123 |
| 8.1.2 | Isomeri geometrici .....                                   | 125 |
| 8.1.3 | Isomeri conformazionali .....                              | 125 |
| 8.2   | Meccanismo di reazione e metodologia di sintesi .....      | 126 |
| 8.2.1 | Controllo e selettività nelle reazioni organiche .....     | 127 |
| 8.2.2 | Sintesi asimmetrica .....                                  | 130 |

**Capitolo 9 – Metodi spettroscopici per la determinazione strutturale dei composti organici**

|       |                                                                      |     |
|-------|----------------------------------------------------------------------|-----|
| 9.1   | Spettroscopia infrarossa .....                                       | 133 |
| 9.1.1 | Caratteristiche strumentali di uno spettrofotometro infrarosso ..... | 135 |
| 9.1.2 | Determinazione dello spettro infrarosso .....                        | 136 |
| 9.1.3 | Caratteristiche generali di uno spettro infrarosso .....             | 136 |
| 9.2   | Spettroscopia di risonanza magnetica nucleare (NMR) .....            | 137 |
| 9.2.1 | Caratteristiche di uno spettro di risonanza magnetica .....          | 138 |
| 9.3   | Spettrometria di massa .....                                         | 139 |



**Capitolo 10 – La reattività dei gruppi funzionali**

|        |                                                                                        |     |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 10.1   | Gli alcani .....                                                                       | 141 |
| 10.1.1 | L'idrogenazione catalitica e la riduzione chimica degli alcheni.....                   | 142 |
| 10.1.2 | Riduzione delle aldeidi e dei chetoni.....                                             | 142 |
| 10.1.3 | Reazioni di <i>coupling</i> usando composti organometallici .....                      | 142 |
| 10.1.4 | Approfondimento: le reazioni di sostituzione nucleofila $S_N2$<br>e $S_N1$ .....       | 143 |
| 10.2   | Gli alcheni.....                                                                       | 145 |
| 10.2.1 | I processi di 1,2-eliminazione ( $\beta$ -eliminazione) .....                          | 146 |
| 10.2.2 | L'idrogenazione catalitica degli alcheni.....                                          | 148 |
| 10.2.3 | La reazione di Wittig.....                                                             | 149 |
| 10.3   | Gli alchini.....                                                                       | 149 |
| 10.3.1 | La deidroalogenazione dei dialogenuri vicinali e geminali .....                        | 150 |
| 10.3.2 | L'alchilazione di un alchino terminale.....                                            | 150 |
| 10.3.3 | Reazioni di <i>coupling</i> che portano a diini.....                                   | 151 |
| 10.4   | Gli alcoli alifatici.....                                                              | 151 |
| 10.4.1 | La riduzione di aldeidi, chetoni ed esteri .....                                       | 152 |
| 10.4.2 | L'interazione dei composti carbonilici con i reagenti organo-<br>metallici .....       | 152 |
| 10.4.3 | L'idroborazione-ossidazione degli alcheni.....                                         | 153 |
| 10.4.4 | L'ossimercuriazione-demercuriazione degli alcheni.....                                 | 154 |
| 10.4.5 | L'idrossilazione degli alcheni.....                                                    | 154 |
| 10.5   | Gli alogenuri alifatici.....                                                           | 155 |
| 10.5.1 | Preparazione dei cloruri alchilici dagli alcoli .....                                  | 155 |
| 10.5.2 | Addizione di alogenuri di idrogeno o di alogeni agli alcheni.....                      | 156 |
| 10.5.3 | La sostituzione dell'atomo di idrogeno alilico reattivo da par-<br>te del bromo .....  | 157 |
| 10.5.4 | Approfondimento: la teoria della risonanza .....                                       | 157 |
| 10.6   | Gli eteri alifatici .....                                                              | 159 |
| 10.6.1 | La formazione degli eteri a partire dagli alcoli in condizioni<br>acide.....           | 159 |
| 10.6.2 | La reazione fra un alcol e un alogenuro alchilico in condizioni<br>basiche .....       | 159 |
| 10.7   | Le aldeidi alifatiche .....                                                            | 160 |
| 10.7.1 | L'ossidazione controllata degli alcoli primari .....                                   | 160 |
| 10.7.2 | La scissione ossidativa di 1,2-dioli .....                                             | 160 |
| 10.7.3 | L'ozonolisi di alcheni.....                                                            | 160 |
| 10.8   | I chetoni alifatici.....                                                               | 161 |
| 10.8.1 | L'ossidazione degli alcoli secondari.....                                              | 161 |
| 10.8.2 | L'idratazione degli alchini.....                                                       | 161 |
| 10.8.3 | Reazione dei cloruri acilici con composti organometallici .....                        | 162 |
| 10.8.4 | Approfondimento: le reazioni di addizione nucleofila ai com-<br>posti carbonilici..... | 162 |
| 10.9   | Gli acidi carbossilici alifatici.....                                                  | 163 |
| 10.9.1 | Metodi ossidativi.....                                                                 | 164 |
| 10.9.2 | Idrolisi dei cianuri alchilici.....                                                    | 164 |

|         |                                                                                                            |     |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 10.9.3  | Carbossilazione dei reattivi di Grignard.....                                                              | 164 |
| 10.9.4  | Approfondimento: sintesi di acidi carbossilici otticamente<br>attivi (esempio di sintesi asimmetrica)..... | 164 |
| 10.10   | I derivati degli acidi carbossilici.....                                                                   | 166 |
| 10.10.1 | Gli alogenuri acilici .....                                                                                | 166 |
| 10.10.2 | Le anidridi .....                                                                                          | 166 |
| 10.10.3 | Gli esteri .....                                                                                           | 166 |
| 10.10.4 | Le ammidi .....                                                                                            | 167 |
| 10.10.5 | Approfondimento: la sostituzione nucleofila acilica.....                                                   | 167 |
| 10.11   | Le ammine alifatiche.....                                                                                  | 167 |
| 10.11.1 | La riduzione di cianuri ed ammidi.....                                                                     | 168 |
| 10.11.2 | Amminazione riduttiva.....                                                                                 | 168 |
| 10.11.3 | La sintesi di Gabriel.....                                                                                 | 168 |
| 10.11.4 | La trasposizione di Hofmann .....                                                                          | 169 |
| 10.12   | Composti aromatici .....                                                                                   | 169 |
| 10.12.1 | L'alchilazione del benzene o reazione di Friedel-Crafts.....                                               | 170 |
| 10.12.2 | La nitratura del benzene .....                                                                             | 171 |
| 10.12.3 | La solfonazione del benzene .....                                                                          | 171 |
| 10.12.4 | Le reazioni che coinvolgono la sostituzione del gruppo dia-<br>zo ( $-N_2^+$ ). I sali di diazonio .....   | 172 |
| 10.13   | Le reazioni di Diels-Alder .....                                                                           | 172 |

## Capitolo 11 – Carboidrati, lipidi e proteine

|         |                                       |     |
|---------|---------------------------------------|-----|
| 11.1    | Carboidrati.....                      | 175 |
| 11.1.1  | Monosaccaridi.....                    | 176 |
| 11.1.2  | Disaccaridi.....                      | 178 |
| 11.1.3  | Polisaccaridi .....                   | 178 |
| 11.2    | Lipidi.....                           | 178 |
| 11.2.1  | Acidi grassi .....                    | 179 |
| 11.2.2  | Classificazione dei lipidi.....       | 179 |
| 11.2.3  | Grassi e oli.....                     | 180 |
| 11.2.4  | Reazioni chimiche .....               | 181 |
| 11.2.5  | Lipidi complessi.....                 | 181 |
| 11.2.6  | Lipidi derivati.....                  | 182 |
| 11.3    | Proteine.....                         | 183 |
| 11.3.1  | Fonti .....                           | 183 |
| 11.3.2  | Funzioni .....                        | 183 |
| 11.3.3  | Amminoacidi .....                     | 184 |
| 11.3.4  | Dipeptidi .....                       | 185 |
| 11.3.5  | Struttura delle proteine .....        | 186 |
| 11.3.6  | Enzimi .....                          | 186 |
| 11.3.7  | Reazioni enzimatiche .....            | 187 |
| 11.3.8  | Attivatori ed inibitori.....          | 187 |
| 11.3.9  | Modalità di azione degli enzimi ..... | 188 |
| 11.3.10 | Apoenzimi e coenzimi.....             | 188 |
| 11.3.11 | Regolazione allosterica.....          | 189 |



**Capitolo 12 – Metabolismo dei carboidrati, dei grassi e delle proteine**

|        |                                                                             |     |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------|-----|
| 12.1   | Fonte di energia.....                                                       | 191 |
| 12.1.1 | Glicogenesi.....                                                            | 194 |
| 12.1.2 | Via metabolica di Embden-Meyerhof: glicolisi.....                           | 194 |
| 12.1.3 | Una ulteriore via metabolica ossidativa: shunt degli esoso monofosfati..... | 196 |
| 12.1.4 | La sequenza aerobica: il ciclo dell'acido citrico.....                      | 196 |
| 12.1.5 | Gluconeogenesi.....                                                         | 198 |
| 12.2   | Livello dei lipidi nel plasma.....                                          | 198 |
| 12.2.1 | Ossidazione dei grassi.....                                                 | 198 |
| 12.2.2 | Immagazzinamento dei grassi.....                                            | 199 |
| 12.2.3 | Lipogenesi.....                                                             | 199 |
| 12.2.4 | Colesterolo.....                                                            | 200 |
| 12.3   | Funzioni delle proteine nell'organismo.....                                 | 200 |
| 12.3.1 | Sintesi proteica.....                                                       | 201 |
| 12.3.2 | Biosintesi di amminoacidi non essenziali.....                               | 201 |
| 12.3.3 | Catabolismo di amminoacidi.....                                             | 202 |
| 12.3.4 | Metabolismo della parte carboniosa di un amminoacido.....                   | 203 |

**Capitolo 13 – La sicurezza nel laboratorio chimico**

|      |                                           |     |
|------|-------------------------------------------|-----|
| 13.1 | Norme di sicurezza in laboratorio.....    | 205 |
| 13.2 | Norme antincendio.....                    | 207 |
| 13.3 | Classificazione dei prodotti chimici..... | 208 |
| 13.4 | Rifiuti.....                              | 210 |

**Capitolo 14 – Analisi gravimetriche e volumetriche**

|        |                                                                             |     |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------|-----|
| 14.1   | Metodi gravimetrici di analisi.....                                         | 213 |
| 14.1.1 | Proprietà dei precipitati e agenti di precipitazione.....                   | 213 |
| 14.1.2 | Essiccamento ed incenerimento dei precipitati.....                          | 216 |
| 14.1.3 | Applicazioni dei metodi gravimetrici.....                                   | 216 |
| 14.2   | Metodi di analisi basati sulla titolazione.....                             | 218 |
| 14.2.1 | Alcuni termini usati nelle titolazioni volumetriche.....                    | 218 |
| 14.2.2 | Soluzioni standard.....                                                     | 219 |
| 14.3   | Teoria delle titolazioni di neutralizzazione.....                           | 220 |
| 14.3.1 | Soluzioni ed indicatori per titolazioni acido-base.....                     | 220 |
| 14.3.2 | Curve di titolazione.....                                                   | 222 |
| 14.3.3 | Titolazione di un acido forte con una base forte.....                       | 222 |
| 14.3.4 | La titolazione di una base forte con un acido forte.....                    | 223 |
| 14.3.5 | Curve di titolazione per acidi deboli.....                                  | 223 |
| 14.3.6 | Titolazione gravimetrica.....                                               | 225 |
| 14.4   | Titolazioni di precipitazione.....                                          | 226 |
| 14.4.1 | Curve di titolazione di precipitazione che coinvolgono lo ione argento..... | 226 |
| 14.4.2 | Punti finali per le titolazioni argentometriche.....                        | 226 |
| 14.5   | Titolazioni con formazione di complessi.....                                | 228 |
| 14.5.1 | Reazioni di formazione di complessi.....                                    | 229 |

|        |                                                                      |     |
|--------|----------------------------------------------------------------------|-----|
| 14.5.2 | Titolazioni con acidi amminocarbossilici .....                       | 230 |
| 14.5.3 | Complessi dell'EDTA con ioni metallici .....                         | 231 |
| 14.6   | Ossidimetria .....                                                   | 234 |
| 14.6.1 | Reazioni di ossidoriduzione .....                                    | 234 |
| 14.6.2 | Confronto tra reazioni di ossidoriduzione e reazioni acido-base..... | 234 |
| 14.6.3 | Curve di titolazione redox.....                                      | 236 |
| 14.6.4 | Indicatori di ossidoriduzione .....                                  | 239 |

## Capitolo 15 – Introduzione ai metodi spettroscopici

|        |                                                                   |     |
|--------|-------------------------------------------------------------------|-----|
| 15.1   | Analisi con metodi fisici .....                                   | 241 |
| 15.1.1 | Proprietà generali della radiazione elettromagnetica .....        | 241 |
| 15.1.2 | Interazione della radiazione con la materia.....                  | 241 |
| 15.1.3 | Assorbimento di radiazione.....                                   | 243 |
| 15.1.4 | Emissione di radiazione elettromagnetica .....                    | 248 |
| 15.2   | Strumenti per spettroscopia ottica .....                          | 251 |
| 15.2.1 | Componenti strumentali .....                                      | 251 |
| 15.2.2 | Schemi degli strumenti ottici .....                               | 254 |
| 15.2.3 | Spettrofotometri per l'infrarosso.....                            | 257 |
| 15.3   | Spettroscopia molecolare di assorbimento .....                    | 258 |
| 15.3.1 | Spettroscopia molecolare di assorbimento nell'UV/Vis .....        | 258 |
| 15.3.2 | Applicazioni qualitative della spettrofotometria nell'UV/Vis..... | 260 |
| 15.3.3 | Applicazioni quantitative .....                                   | 260 |
| 15.4   | Spettroscopia atomica .....                                       | 261 |
| 15.4.1 | Origine degli spettri atomici .....                               | 262 |
| 15.4.2 | Produzione di atomi e di ioni .....                               | 264 |
| 15.4.3 | Spettrometria di emissione atomica .....                          | 269 |
| 15.4.4 | Spettroscopia di assorbimento atomico in fiamma.....              | 272 |

## Capitolo 16 – La cromatografia

|        |                                                                    |     |
|--------|--------------------------------------------------------------------|-----|
| 16.1   | Introduzione ai metodi cromatografici.....                         | 275 |
| 16.1.1 | Classificazione dei metodi cromatografici.....                     | 275 |
| 16.1.2 | Cromatografia di eluizione.....                                    | 275 |
| 16.1.3 | Velocità di migrazione dei soluti.....                             | 277 |
| 16.1.4 | Variabili che influenzano l'efficienza della colonna.....          | 278 |
| 16.1.5 | Applicazioni della cromatografia.....                              | 279 |
| 16.2   | Gas cromatografia.....                                             | 279 |
| 16.2.1 | Strumenti per cromatografia gas-liquido .....                      | 280 |
| 16.2.2 | Colonne e fasi stazionarie per gas cromatografia .....             | 284 |
| 16.2.3 | Applicazioni della cromatografia gas-liquido.....                  | 286 |
| 16.3   | Cromatografia liquida ad alta prestazione (HPLC) .....             | 287 |
| 16.3.1 | Strumentazione .....                                               | 288 |
| 16.3.2 | Cromatografia ad alta prestazione per ripartizione.....            | 290 |
| 16.3.3 | Cromatografia di adsorbimento ad alta prestazione .....            | 292 |
| 16.3.4 | Cromatografia ad alta prestazione a scambio ionico.....            | 292 |
| 16.3.5 | Cromatografia ad alta prestazione ad esclusione dimensionale ..... | 293 |
| 16.3.6 | Cromatografia di affinità .....                                    | 294 |



|        |                                             |     |
|--------|---------------------------------------------|-----|
| 16.3.7 | Cromatografia chirale.....                  | 294 |
| 16.4   | Cromatografia planare .....                 | 294 |
| 16.4.1 | Cromatografia su strato sottile (TLC) ..... | 295 |

## **Capitolo 17 – Elaborazione dei dati sperimentali**

|       |                                               |     |
|-------|-----------------------------------------------|-----|
| 17.1  | Errori sistematici ed errori casuali.....     | 297 |
| 17.2  | Accuratezza ed esattezza.....                 | 297 |
| 17.3  | Precisione ed accuratezza .....               | 298 |
| 17.4  | Cifre significative .....                     | 299 |
| 17.5  | Distribuzione statistica dei dati .....       | 299 |
| 17.6  | Limiti di confidenza .....                    | 301 |
| 17.7  | Q-Test.....                                   | 302 |
| 17.8  | Coefficiente t di Student .....               | 303 |
| 17.9  | Presentazione del dato .....                  | 304 |
| 17.10 | Analisi bivariata dei dati sperimentali ..... | 304 |

## **Capitolo 18 – Tecnologia**

|        |                                                                                     |     |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 18.1   | I liquidi.....                                                                      | 307 |
| 18.1.1 | Compressibilità.....                                                                | 307 |
| 18.1.2 | Viscosità .....                                                                     | 307 |
| 18.2   | Statica dei liquidi .....                                                           | 308 |
| 18.2.1 | Equazione della statica dei liquidi .....                                           | 308 |
| 18.2.2 | Pressione idrostatica, pressione relativa e pressione assoluta .....                | 309 |
| 18.3   | Dinamica dei liquidi .....                                                          | 309 |
| 18.3.1 | Portata, moto stazionario e moto vario .....                                        | 309 |
| 18.3.2 | Moto laminare e moto turbolento: numero di Reynold .....                            | 309 |
| 18.3.3 | Dinamica del liquido perfetto ed equazione di Bernoulli .....                       | 310 |
| 18.3.4 | L'equazione di Bernoulli per liquidi reali (viscosi) .....                          | 310 |
| 18.4   | Aeriformi.....                                                                      | 310 |
| 18.4.1 | Moto degli aeriformi ideali in tubazioni .....                                      | 310 |
| 18.4.2 | Aeriformi non ideali (reali) .....                                                  | 311 |
| 18.5   | Bilancio di energia comune a liquidi e ad aeriformi ideali e non ideali .....       | 311 |
| 18.5.1 | Macchine operatrici.....                                                            | 311 |
| 18.6   | Macchine dinamiche.....                                                             | 312 |
| 18.6.1 | Le pompe .....                                                                      | 312 |
| 18.6.2 | Pompe centrifughe: classificazione e funzionamento .....                            | 312 |
| 18.6.3 | Pompe alternative .....                                                             | 314 |
| 18.6.4 | Pompe a turbina e pompe rotative .....                                              | 314 |
| 18.7   | Macchine statiche .....                                                             | 314 |
| 18.7.1 | Eiettori.....                                                                       | 314 |
| 18.7.2 | Montaliquidi.....                                                                   | 315 |
| 18.7.3 | Mammuth.....                                                                        | 315 |
| 18.8   | Apparecchiature di trasporto, di compressione e di aspirazione degli aeriformi..... | 315 |
| 18.8.1 | Ventilatori.....                                                                    | 315 |
| 18.8.2 | Compressori .....                                                                   | 315 |

|         |                                                                                        |     |
|---------|----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 18.9    | Apparecchiature per il vuoto.....                                                      | 316 |
| 18.10   | Apparecchiature per il trasporto e lo stoccaggio di liquidi .....                      | 316 |
| 18.10.1 | Contenitori.....                                                                       | 316 |
| 18.10.2 | Giunti e guarnizioni .....                                                             | 316 |
| 18.10.3 | Valvole .....                                                                          | 316 |
| 18.11   | Trasporto e immagazzinamento dei solidi .....                                          | 317 |
| 18.11.1 | I nastri trasportatori .....                                                           | 317 |
| 18.11.2 | Trasportatori a coclea.....                                                            | 317 |
| 18.11.3 | Elevatori a tazze e piani inclinati ad elica .....                                     | 317 |
| 18.11.4 | Immagazzinamento dei solidi.....                                                       | 318 |
| 18.12   | Macinazione.....                                                                       | 318 |
| 18.13   | Frantumazione.....                                                                     | 318 |
| 18.14   | Classificazione (separazione dei solidi dai fluidi) .....                              | 319 |
| 18.14.1 | Apparecchiature usate per classificare particelle solide so-<br>spese in liquidi ..... | 319 |
| 18.14.2 | Depurazione delle correnti gassose da polveri .....                                    | 319 |
| 18.15   | Flottazione (miscelamento e saturazione con gas) .....                                 | 320 |

## Capitolo 19 – Bioenergetica

|        |                                                                  |     |
|--------|------------------------------------------------------------------|-----|
| 19.1   | Microrganismi e loro struttura .....                             | 321 |
| 19.1.1 | Batteri.....                                                     | 321 |
| 19.1.2 | Funghi.....                                                      | 322 |
| 19.2   | Fattori che influenzano la crescita microbica.....               | 323 |
| 19.2.1 | Temperatura .....                                                | 323 |
| 19.2.2 | Umidità e pressione osmotica.....                                | 323 |
| 19.2.3 | pH.....                                                          | 323 |
| 19.2.4 | Ossigeno.....                                                    | 324 |
| 19.3   | Processi microbici di interesse industriale: fermentazioni ..... | 324 |

## Capitolo 20 – Tecnologia degli alimenti

|        |                                                            |     |
|--------|------------------------------------------------------------|-----|
| 20.1   | Liofilizzazione.....                                       | 327 |
| 20.1.1 | Preparazione del materiale .....                           | 327 |
| 20.1.2 | Congelamento .....                                         | 327 |
| 20.1.3 | Liofilizzazione .....                                      | 327 |
| 20.2   | Refrigerazione .....                                       | 328 |
| 20.3   | Congelamento .....                                         | 329 |
| 20.3.1 | Congelamento per contatto con piastre .....                | 331 |
| 20.3.2 | Congelamento ad aria forzata .....                         | 331 |
| 20.3.3 | Congelamento per immersione in liquidi incongelabili ..... | 331 |
| 20.3.4 | Congelamento con l'uso di agenti criogeni.....             | 331 |
| 20.4   | Surgelamento.....                                          | 332 |
| 20.5   | Vino .....                                                 | 332 |
| 20.5.1 | Vinificazione .....                                        | 332 |
| 20.5.2 | Solfitazione dei vini .....                                | 334 |
| 20.6   | Birra.....                                                 | 335 |
| 20.7   | Aceto .....                                                | 336 |



## **XVIII**    **Indice**

|         |                                                   |     |
|---------|---------------------------------------------------|-----|
| 20.8    | Latte .....                                       | 337 |
| 20.8.1  | Pastorizzazione.....                              | 337 |
| 20.8.2  | Sterilizzazione UHT .....                         | 338 |
| 20.8.3  | Sterilizzazione in autoclave .....                | 339 |
| 20.8.4  | Trattamenti di risanamento alternativi .....      | 339 |
| 20.9    | Formaggio.....                                    | 340 |
| 20.10   | Burro .....                                       | 341 |
| 20.11   | Olio di oliva.....                                | 342 |
| 20.11.1 | Estrazione per pressione .....                    | 342 |
| 20.11.2 | Estrazione per centrifugazione.....               | 344 |
| 20.12   | Oli di semi.....                                  | 346 |
| 20.12.1 | Estrazione.....                                   | 346 |
| 20.12.2 | Rettifica degli oli.....                          | 347 |
| 20.13   | La farina di frumento.....                        | 349 |
| 20.13.1 | Produzione.....                                   | 349 |
| 20.14   | Il pane .....                                     | 350 |
| 20.14.1 | Preparazione .....                                | 350 |
| 20.15   | Pasta.....                                        | 351 |
| 20.15.1 | Preparazione .....                                | 351 |
| 20.16   | Caffè .....                                       | 352 |
| 20.16.1 | Torrefazione.....                                 | 352 |
| 20.16.2 | Caffè solubile istantaneo.....                    | 353 |
| 20.16.3 | Decaffeinizzazione.....                           | 353 |
| 20.17   | Cacao.....                                        | 353 |
| 20.17.1 | Tostatura .....                                   | 353 |
| 20.17.2 | Produzione del liquor .....                       | 354 |
| 20.17.3 | Cacao in polvere .....                            | 354 |
| 20.17.4 | Cioccolato .....                                  | 354 |
| 20.18   | Conservazione di verdura e frutta.....            | 355 |
| 20.18.1 | Conservazione e trasformazione del pomodoro ..... | 357 |
| 20.18.2 | Confetture e marmellate.....                      | 358 |
| 20.18.3 | Frutta sciroppata.....                            | 358 |
| 20.18.4 | Succhi di frutta .....                            | 359 |

### **Capitolo 21 - Tecnologia delle ceramiche**

|        |                                 |     |
|--------|---------------------------------|-----|
| 21.1   | Le ceramiche .....              | 361 |
| 21.1.1 | Ceramiche a pasta porosa .....  | 363 |
| 21.1.2 | Ceramiche a pasta compatta..... | 363 |
| 21.1.3 | I laterizi .....                | 364 |
| 21.1.4 | I refrattari.....               | 365 |

### **Capitolo 22 - Tecnologia odontotecnica**

|        |                                          |     |
|--------|------------------------------------------|-----|
| 22.1   | Materiali per i manufatti protesici..... | 367 |
| 22.1.1 | Gessi.....                               | 367 |
| 22.1.2 | Cere per uso odontotecnico .....         | 368 |
| 22.1.3 | Materiali da impronte .....              | 369 |



|        |                                       |     |
|--------|---------------------------------------|-----|
| 22.1.4 | Resine odontotecniche .....           | 370 |
| 22.1.5 | Porcellane dentali.....               | 370 |
| 22.1.6 | Materiali da rivestimento .....       | 371 |
| 22.1.7 | Abrasivi .....                        | 371 |
| 22.2   | Decappanti per uso odontotecnico..... | 371 |
| 22.3   | Metalli e leghe in odontotecnica..... | 372 |

### Capitolo 23 – Lo scambio di calore nelle apparecchiature chimiche

|        |                                                    |     |
|--------|----------------------------------------------------|-----|
| 23.1   | Legge generale della trasmissione del calore ..... | 373 |
| 23.2   | Meccanismi di trasmissione del calore.....         | 373 |
| 23.2.1 | Conduzione.....                                    | 373 |
| 23.2.2 | Convezione .....                                   | 376 |
| 23.2.3 | Processi di scambio termico stazionari.....        | 380 |
| 23.2.4 | Trasmissione del calore per mescolanza .....       | 380 |
| 23.2.5 | Irraggiamento .....                                | 381 |
| 23.3   | Isolamento termico .....                           | 383 |

### Capitolo 24 – La distillazione

|        |                                                  |     |
|--------|--------------------------------------------------|-----|
| 24.1   | Generalità .....                                 | 385 |
| 24.2   | Miscele liquide.....                             | 385 |
| 24.3   | Miscele di aeriformi.....                        | 386 |
| 24.4   | Soluzioni liquide ideali .....                   | 388 |
| 24.5   | Soluzioni liquide reali .....                    | 389 |
| 24.6   | Miscele azeotropiche.....                        | 391 |
| 24.7   | Diagramma di stato .....                         | 391 |
| 24.7.1 | Distillazione frazionata.....                    | 393 |
| 24.7.2 | Azeotropo di minima e azeotropo di massima ..... | 393 |
| 24.7.3 | Curva di equilibrio .....                        | 394 |
| 24.8   | Metodi di distillazione.....                     | 396 |
| 24.8.1 | Colonna di frazionamento.....                    | 397 |
| 24.8.2 | Bilancio di materia sulla colonna .....          | 397 |
| 24.8.3 | Retta di lavoro superiore.....                   | 398 |

### Capitolo 25 – L'evaporazione

|        |                                                    |     |
|--------|----------------------------------------------------|-----|
| 25.1   | Generalità .....                                   | 405 |
| 25.2   | Aspetti chimico-fisici dell'ebollizione .....      | 407 |
| 25.3   | Apparecchiature per l'evaporazione .....           | 407 |
| 25.4   | Progettazione di un evaporatore .....              | 408 |
| 25.5   | Condizioni di realizzazione dell'evaporazione..... | 409 |
| 25.6   | Evaporazione a multiplo effetto .....              | 410 |
| 25.6.1 | Multiplo effetto in equicorrente.....              | 410 |
| 25.6.2 | Multiplo effetto in controcorrente.....            | 411 |

### Capitolo 26 – L'estrazione

|      |                                                 |     |
|------|-------------------------------------------------|-----|
| 26.1 | Generalità .....                                | 413 |
| 26.2 | Estrazione solido-liquido (lisciviazione) ..... | 413 |



## XX Indice

|        |                                                                          |     |
|--------|--------------------------------------------------------------------------|-----|
| 26.2.1 | Apparecchiature per l'estrazione solido-liquido .....                    | 415 |
| 26.2.2 | Determinazione grafica degli stadi di un'estrazione solido-liquido ..... | 416 |
| 26.2.3 | Estrazione in controcorrente.....                                        | 421 |
| 26.3   | Estrazione liquido-liquido.....                                          | 423 |
| 26.3.1 | Introduzione .....                                                       | 423 |
| 26.3.2 | Applicazioni industriali .....                                           | 424 |
| 26.3.3 | Aspetti chimico-fisici dell'estrazione .....                             | 424 |
| 26.3.4 | Caratteristiche del solvente.....                                        | 426 |
| 26.3.5 | Tipi di estrazioni.....                                                  | 428 |
| 26.3.6 | Estrazione a stadi multipli in correnti incrociate .....                 | 428 |
| 26.3.7 | Estrazione liquido-liquido a stadi multipli in controcorrente....        | 429 |
| 26.3.8 | Apparecchiature per l'estrazione liquido-liquido .....                   | 431 |

### Capitolo 27 – Processi biotecnologici

|         |                                                                                                    |     |
|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 27.1    | Introduzione.....                                                                                  | 437 |
| 27.2    | Processi aerobici ed anaerobici .....                                                              | 439 |
| 27.3    | Fermentazioni: operazioni unitarie e tipi.....                                                     | 440 |
| 27.4    | Modello matematico della cinetica del processo di crescita.....                                    | 442 |
| 27.5    | Fermentatori discontinui .....                                                                     | 444 |
| 27.6    | Dimensionamento dei bioreattori continui miscelati .....                                           | 448 |
| 27.7    | Bioreattori fed-batch .....                                                                        | 453 |
| 27.8    | Caratteristiche tecniche dei bioreattori .....                                                     | 454 |
| 27.9    | Misurazioni e controlli .....                                                                      | 457 |
| 27.10   | Tecniche di estrazione, purificazione e controllo analitico dei prodotti della fermentazione ..... | 458 |
| 27.10   | Applicazioni industriali.....                                                                      | 458 |
| 27.10.1 | Produzione di lieviti .....                                                                        | 458 |
| 27.11   | Produzione di etanolo.....                                                                         | 460 |
| 27.12   | Produzione di biodiesel .....                                                                      | 461 |
| 27.13   | Idrolisi dell'amido .....                                                                          | 462 |
| 27.14   | Produzione di antibiotici .....                                                                    | 463 |
| 27.15   | Trattamenti biologici delle acque.....                                                             | 464 |

### Capitolo 28 – Reattori chimici

|      |                                                                      |     |
|------|----------------------------------------------------------------------|-----|
| 28.1 | Introduzione.....                                                    | 467 |
| 28.2 | Il reattore chimico: generalità.....                                 | 467 |
| 28.3 | Modelli ideali di reattori chimici.....                              | 468 |
| 28.4 | Classificazione dei reattori chimici.....                            | 468 |
| 28.5 | Mescolamento.....                                                    | 471 |
| 28.6 | Scambio termico.....                                                 | 471 |
| 28.7 | Pericolosità delle reazioni chimiche .....                           | 472 |
| 28.8 | Aspetti chimico-fisici della progettazione dei reattori chimici..... | 472 |

### Capitolo 29 – Catalizzatori

|      |                        |     |
|------|------------------------|-----|
| 29.1 | Cinetica chimica ..... | 477 |
| 29.2 | Catalisi.....          | 480 |



|        |                                                                               |     |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 29.2.1 | Catalisi omogenea .....                                                       | 482 |
| 29.2.2 | Catalisi eterogenea .....                                                     | 484 |
| 29.2.3 | Catalisi enzimatica .....                                                     | 485 |
| 29.3   | L'impiego dei catalizzatori nelle reazioni chimiche su scala industriale..... | 487 |

### Capitolo 30 – Sistemi automatici di controllo

|        |                                                           |     |
|--------|-----------------------------------------------------------|-----|
| 30.1   | Introduzione .....                                        | 495 |
| 30.2   | Misura della portata .....                                | 496 |
| 30.3   | Misura della pressione.....                               | 497 |
| 30.4   | Misura della temperatura.....                             | 497 |
| 30.5   | Misuratori di densità .....                               | 497 |
| 30.6   | Misuratori di livello .....                               | 498 |
| 30.7   | Regolazione pneumatica.....                               | 498 |
| 30.8   | Diagrammi di applicazione .....                           | 500 |
| 30.8.1 | Schema di trasmissione della temperatura .....            | 500 |
| 30.8.2 | Schema di trasmissione della pressione .....              | 500 |
| 30.8.3 | Schema di trasmissione di livello .....                   | 501 |
| 30.8.4 | Schema di trasmissione della portata.....                 | 501 |
| 30.8.5 | Schema di trasmissione e controllo della temperatura..... | 502 |
| 30.8.6 | Schema di trasmissione e controllo della pressione.....   | 502 |
| 30.8.7 | Schema di trasmissione e regolazione della portata .....  | 502 |

### Capitolo 31 – Aspetti ecologici ed impatto ambientale della moderna industria chimica

|        |                                                                     |     |
|--------|---------------------------------------------------------------------|-----|
| 31.1   | Introduzione.....                                                   | 503 |
| 31.2   | Gli ecosistemi industriali.....                                     | 504 |
| 31.3   | I principali componenti di un ecosistema industriale .....          | 504 |
| 31.4   | Legami fra l'ecologia industriale e le sfere dell'ambiente.....     | 505 |
| 31.4.1 | Combustione dei fossili .....                                       | 505 |
| 31.4.2 | Manifattura industriale e processamento .....                       | 506 |
| 31.5   | I diversi tipi di impatto ambientale nell'ecologia industriale..... | 506 |
| 31.6   | Tre parole chiave: energia, materiali, diversità.....               | 507 |

### Capitolo 32 – Il petrolio e i suoi derivati

|      |                                  |     |
|------|----------------------------------|-----|
| 32.1 | Introduzione.....                | 511 |
| 32.2 | La formazione del petrolio ..... | 511 |
| 32.3 | Le proprietà del petrolio .....  | 511 |
| 32.4 | L'utilizzo del petrolio .....    | 512 |
| 32.5 | I prodotti del petrolio .....    | 514 |

### Capitolo 33 – I combustibili liquidi, solidi e gassosi

|        |                                             |     |
|--------|---------------------------------------------|-----|
| 33.1   | Introduzione.....                           | 517 |
| 33.2   | Tipi di combustibili .....                  | 517 |
| 33.2.1 | Combustibili liquidi.....                   | 517 |
| 33.3   | Combustibili solidi.....                    | 519 |
| 33.3.1 | Il carbone .....                            | 519 |
| 33.3.2 | Proprietà chimico-fisiche del carbone ..... | 520 |



## **XXII**    **Indice**

|        |                                                                           |     |
|--------|---------------------------------------------------------------------------|-----|
| 33.3.3 | Analisi del carbone .....                                                 | 520 |
| 33.3.4 | Gassificazione e liquefazione del carbone .....                           | 520 |
| 33.4   | Combustibili gassosi .....                                                | 521 |
| 33.4.1 | Tipi di combustibili gassosi .....                                        | 521 |
| 33.4.2 | GPL.....                                                                  | 521 |
| 33.4.3 | Il gas naturale .....                                                     | 521 |
| 33.5   | Valutazione delle prestazioni dei combustibili.....                       | 522 |
| 33.5.1 | Il processo di combustione e il potere calorifico di un combustibile..... | 522 |

### **Capitolo 34 – Ghise e acciai**

|        |                                                                 |     |
|--------|-----------------------------------------------------------------|-----|
| 34.1   | Introduzione.....                                               | 525 |
| 34.2   | Proprietà dei metalli.....                                      | 525 |
| 34.3   | Fabbricazione dei metalli.....                                  | 530 |
| 34.4   | Leghe metalliche .....                                          | 531 |
| 34.4.1 | Materie prime per la produzione delle ghise e degli acciai..... | 532 |
| 34.5   | La produzione delle ghise e degli acciai.....                   | 532 |
| 34.6   | Classificazione degli acciai.....                               | 539 |

### **Capitolo 35 – Il sapone e la manifattura dei detergenti**

|        |                                                           |     |
|--------|-----------------------------------------------------------|-----|
| 35.1   | Introduzione.....                                         | 541 |
| 35.2   | Il processo di manifattura del sapone .....               | 542 |
| 35.2.1 | Il processo Colgate-Palmolive .....                       | 543 |
| 35.3   | Il processo di manifattura dei detergenti in polvere..... | 546 |
| 35.4   | Il processo di manifattura dei detergenti liquidi.....    | 546 |
| 35.5   | Impatto ambientale .....                                  | 546 |

### **Capitolo 36 – Fitosanitari**

|        |                                   |     |
|--------|-----------------------------------|-----|
| 36.1   | Classificazione.....              | 549 |
| 36.1.1 | Composti clororganici.....        | 549 |
| 36.1.2 | Composti fosfororganici .....     | 550 |
| 36.1.3 | Carbammati e ditiocarbammati..... | 551 |
| 36.1.4 | Composti triazinici .....         | 552 |

### **Capitolo 37 – Depurazione delle acque**

|        |                                                                  |     |
|--------|------------------------------------------------------------------|-----|
| 37.1   | Caratterizzazione delle acque naturali e delle acque reflue..... | 553 |
| 37.2   | Sistemi di trattamento delle acque reflue urbane.....            | 555 |
| 37.2.1 | Grigliatura e triturazione .....                                 | 555 |
| 37.2.2 | Desabbiatura e deoleazione.....                                  | 556 |
| 37.2.3 | Sedimentazione .....                                             | 557 |
| 37.2.4 | Trattamento biologico.....                                       | 557 |
| 37.2.5 | I fanghi attivi .....                                            | 558 |
| 37.2.6 | Trattamenti chimico-fisici .....                                 | 558 |
| 37.3   | Sistemi di trattamento delle acque reflue industriali.....       | 559 |



**Capitolo 38 – I trigliceridi**

|        |                                                                              |     |
|--------|------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 38.1   | Caratteristiche generali.....                                                | 561 |
| 38.2   | Principali applicazioni industriali: la margarina e i grassi idrogenati..... | 563 |
| 38.2.1 | Produzione della margarina .....                                             | 564 |

**Capitolo 39 – La chimica dei polimeri**

|        |                                                     |     |
|--------|-----------------------------------------------------|-----|
| 39.1   | Introduzione.....                                   | 567 |
| 39.2   | Struttura e proprietà dei polimeri.....             | 568 |
| 39.3   | Classificazione dei polimeri .....                  | 569 |
| 39.3.1 | Polimeri naturali e sintetici.....                  | 569 |
| 39.3.2 | Polimeri organici e inorganici .....                | 570 |
| 39.3.3 | Polimeri termoplastici e termoindurenti .....       | 570 |
| 39.3.4 | Plastiche, elastomeri, fibre e resine liquide ..... | 570 |
| 39.4   | Tipi di polimeri .....                              | 570 |
| 39.4.1 | I polimeri di addizione.....                        | 570 |
| 39.4.2 | Polimeri di condensazione .....                     | 571 |
| 39.5   | Strutture dei polimeri .....                        | 571 |
| 39.5.1 | Elastomeri o gomme .....                            | 571 |
| 39.5.2 | Polistirene .....                                   | 572 |
| 39.5.3 | Poliammidi.....                                     | 572 |

**Capitolo 40 – Introduzione generale alla chimica dei coloranti**

|        |                                                          |     |
|--------|----------------------------------------------------------|-----|
| 40.1   | Introduzione.....                                        | 573 |
| 40.2   | Coloranti e pigmenti .....                               | 575 |
| 40.3   | Considerazioni nella progettazione di un colorante ..... | 575 |
| 40.3.1 | Coloranti per poliesteri.....                            | 575 |
| 40.3.2 | Coloranti per poliammidi .....                           | 576 |
| 40.3.3 | Coloranti per polimeri cellulosici .....                 | 576 |
| 40.3.4 | Coloranti per capelli .....                              | 577 |
| 40.4   | Considerazioni tossicologiche .....                      | 577 |

**Capitolo 41 – Normativa per la prevenzione degli infortuni e igiene del lavoro nell'industria del settore**

|      |                                                         |     |
|------|---------------------------------------------------------|-----|
| 41.1 | Introduzione.....                                       | 579 |
| 41.2 | Cause oggettive di infortunio .....                     | 586 |
| 41.3 | Equipaggiamento antiinfortunistico .....                | 589 |
| 41.4 | Igiene industriale.....                                 | 591 |
| 41.5 | Norme essenziali di sicurezza e igiene nel lavoro ..... | 592 |

**Capitolo 42 – Rappresentazione degli impianti chimici (Norme UNICHIM dal Manuale n. 6 ed. 1994)**

|  |  |     |
|--|--|-----|
|  |  | 595 |
|--|--|-----|





# Capitolo 1

## La natura della materia

### 1.1 L'atomo ed i suoi costituenti

Le particelle principali che costituiscono l'atomo sono l'**elettrone**, il **protone** e il **neutrone**. Le conoscenze più importanti sulla natura e il comportamento degli elettroni provengono dagli studi sulla scarica dei gas. Tali esperimenti venivano effettuati in tubi di vetro riempiti di gas rarefatti all'interno dei quali veniva fatta passare una scarica elettrica tra due elettrodi metallici. In questi tubi si generavano dei raggi che furono chiamati "raggi catodici" poiché venivano emessi dal polo negativo (catodo) e si dirigevano verso il polo positivo (anodo). Tali raggi, che in realtà erano costituiti da un fascio di elettroni, venivano deviati in presenza di campi elettrici o magnetici e la loro deflessione poteva essere visualizzata su uno schermo fluorescente.

J.J. Thomson (1856-1940) dimostrò che i raggi catodici erano carichi negativamente (applicando un campo elettrico venivano deviati verso l'elettrodo positivo) ed erano indipendenti dalla natura del gas contenuto nel tubo (erano il costituente comune di ogni tipo di sostanza). Thomson riuscì inoltre a determinare il rapporto carica/massa ( $e/m$ ) dell'elettrone, sottoponendo i raggi catodici all'azione contemporanea di un campo elettrico e di un campo magnetico.

Successivamente R.A. Millikan (1860-1953), con un esperimento relativamente semplice, riuscì a misurare con notevole accuratezza la carica dell'elettrone che risultò essere pari a  $-1,6 \cdot 10^{-19}$  **coulomb**.

Essendo noto il rapporto  $e/m$ , determinato da Thomson, fu possibile così calcolare la massa dell'elettrone che risultò essere pari a  $9 \cdot 10^{-31}$  **kg**.

Poiché gli atomi erano elettricamente neutri, essi dovevano contenere anche particelle positive che annullavano la carica negativa degli elettroni. Con esperimenti eseguiti con tubi di scarica modificati e impiegando gas diversi, fu possibile misurare la massa e la carica degli atomi privati della carica negativa e in particolare dello ione positivo più semplice, ottenuto dalla ionizzazione dell'idrogeno, al quale fu dato il nome di **protone**. Il protone aveva, in valore assoluto, la stessa carica elettrica dell'elettrone e la sua massa risultò pari a  $1,67 \cdot 10^{-27}$  **kg**, cioè circa 1836 volte più grande di quella dell'elettrone.

La massa dell'atomo di idrogeno risultò all'incirca uguale alla massa del protone (essendo piccolissimo il contributo della massa dell'elettrone), ma per tutti gli altri elementi si trovò che la massa atomica era maggiore della somma delle masse dei rispettivi protoni ed elettroni. Questa differenza fu attribuita



alla presenza nell'atomo di un altro tipo di particella, che fu scoperta nel 1932 da J. Chadwick e che fu chiamata **neutrone**. Tale particella risultò ovviamente priva di carica e con una massa quasi uguale a quella del protone.

## 1.2 Numero atomico, numero di massa ed isotopi

Il numero di protoni presenti in un nucleo è chiamato **numero atomico** e viene indicato con la lettera **Z**. Poiché un atomo è elettricamente neutro, il numero dei protoni deve essere ovviamente uguale al numero degli elettroni.

Nel nucleo sono contenuti anche i neutroni, per cui protoni e neutroni vengono genericamente chiamati **nucleoni**. Alla somma del numero dei protoni e dei neutroni è dato il nome di **numero di massa**, che si indica con la lettera **A**. La differenza  $A - Z$  rappresenta quindi il numero di neutroni contenuti nel nucleo. Quando si vuole mettere in evidenza il numero di massa ed il numero atomico di un particolare atomo  $X$ , si usa il simbolismo  ${}^A_ZX$ .

Il comportamento chimico di un elemento è determinato dal suo numero atomico, cioè dal numero di elettroni e di protoni. È stato tuttavia osservato sperimentalmente che atomi di uno stesso elemento, pur avendo lo stesso numero di protoni, possono differire per il numero di neutroni. Questi atomi, che hanno lo stesso numero atomico ma diverso numero di massa, sono detti isotopi ed occupano lo stesso posto nel sistema periodico. Per esempio, il boro naturale è costituito da una miscela di due diversi isotopi, il  ${}^{10}_5\text{B}$  (19,78%), il cui peso atomico è 10,012 u.m.a., e il  ${}^{11}_5\text{B}$  (80,22%), il cui peso atomico è 11,009 u.m.a.

Per **peso atomico** si intende la massa atomica relativa e media dell'isotopo in esame. La massa atomica relativa di un isotopo viene calcolata attribuendo convenzionalmente una massa pari a 12 (numero esatto) all'isotopo  ${}^{12}\text{C}$ . Conoscendo l'abbondanza naturale degli isotopi di uno stesso atomo e la massa atomica relativa di ciascun isotopo è possibile calcolare il peso atomico relativo di un elemento. La massa atomica relativa, così come il peso atomico relativo, sono numeri puri (adimensionali). Definendo però una nuova unità di misura di massa uguale a  $1/12$  della massa assoluta dell'isotopo  ${}^{12}\text{C}$ , le masse dei vari atomi hanno un valore assoluto espresso in questa unità di misura, chiamata unità di massa atomica (u.m.a.) che coincide come numero con la massa relativa ( $1 \text{ u.m.a.} = 1,660540210 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ ).

Nel caso del boro, il peso atomico assoluto vale:

$$\frac{(10,012 \text{ u.m.a.})(19,78)}{100} + \frac{(11,009 \text{ u.m.a.})(80,22)}{100} = 10,81 \text{ u.m.a.}$$

Questo valore è un valore **medio**, e i pesi atomici degli elementi riportati nelle tabelle sono di fatto dei pesi atomici medi, che tengono conto della composizione isotopica.

Gli isotopi di uno stesso elemento hanno tutti lo stesso comportamento chimico perché hanno lo stesso numero atomico **Z**.



### 1.3 Le teorie atomiche

Dopo la scoperta dell'elettrone, Thomson propose un modello per interpretare la costituzione dell'atomo, secondo il quale esso era costituito da una sfera uniforme di cariche positive nella quale gli elettroni erano distribuiti come dei granelli di pepe all'interno di una palla di cotone.

Tale modello si rivelò presto inadeguato in seguito ad alcuni esperimenti eseguiti da E. Rutherford (1871-1937) sul potere penetrante delle **particelle  $\alpha$**  emesse da una sorgente radioattiva. Rutherford indirizzò un fascio di particelle  $\alpha$  (nuclei di He privi di elettroni, cioè particelle "molto pesanti", ciascuna dotata di due cariche positive) su una sottile lamina d'oro, e si accorse che, nonostante la maggior parte delle particelle mantenesse la traiettoria originale, alcune venivano fortemente deflesse o addirittura rimbalzavano indietro.

Questo risultato era inaspettato poiché secondo il modello di Thomson la massa e la carica dovevano essere distribuite uniformemente all'interno degli atomi del metallo. In base a questi risultati Rutherford giunse alla conclusione che l'atomo dovesse consistere di un "nucleo" carico positivamente in cui era concentrata tutta la massa e da elettroni posti esternamente al nucleo, in numero tale da bilanciare la carica positiva.

Secondo Rutherford l'atomo era come un sistema planetario, con il nucleo al posto del sole e gli elettroni al posto dei pianeti. Un tale modello, tuttavia, rappresentava un atomo instabile. Infatti, secondo l'elettrodinamica classica, essendo l'elettrone dotato di carica, nella sua rotazione attorno al nucleo avrebbe dovuto continuamente dissipare energia sotto forma di radiazioni elettromagnetiche e quindi in brevissimo tempo cadere sul nucleo. Per giustificare il comportamento dei sistemi microscopici occorrerà abbandonare le teorie della fisica classica e utilizzare i concetti della meccanica quantistica che comincia a muovere i primi passi all'inizio del XX secolo.

È comunque utile sottolineare alcuni punti ricavati dal modello di Rutherford, poiché essi sono ancora validi e riguardano essenzialmente l'ordine di grandezza delle dimensioni del nucleo e dell'atomo.

Nel nucleo è contenuta praticamente tutta la massa dell'atomo, cioè i protoni ed i neutroni (questi ultimi furono solo previsti da Rutherford) e le sue dimensioni sono dell'ordine di  $10^{-12}$  cm. All'esterno del nucleo vi sono gli elettroni che si trovano ad una distanza da esso che è circa 10.000 volte più grande del raggio del nucleo. Queste dimensioni sono lontane dalla nostra percezione. Infatti, se immaginiamo ad esempio che il nucleo sia dell'ordine di 1 cm, in questo caso gli elettroni si troverebbero a circa 10.000 cm, cioè a 100 metri di distanza. Quindi, come si afferma con un'espressione un po' paradossale, l'atomo è "vuoto". La maggior parte delle nostre conoscenze sulla struttura degli atomi e delle molecole proviene da esperimenti nei quali avvengono delle interazioni tra la materia e la luce.

La luce è una forma di energia e può essere rappresentata da un insieme di radiazioni costituite da onde elettromagnetiche che si propagano nello spazio



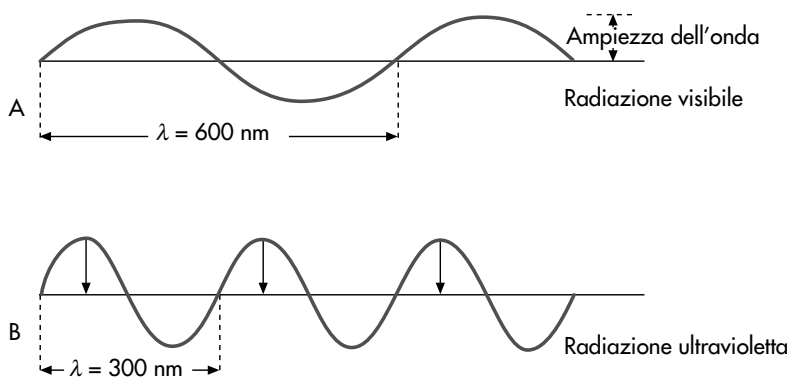
sotto forma di un campo elettrico e di un campo magnetico oscillanti, tra di loro perpendicolari.

Le grandezze che caratterizzano un'onda elettromagnetica sono:

- la **lunghezza d'onda**,  $\lambda$ , che rappresenta la distanza tra due minimi o due massimi successivi ed è espressa in unità di lunghezza (m, cm, nm, ecc.) (Figura 1.1);
- la **frequenza**,  $\nu$ , che rappresenta il numero di onde che passano per un punto in un secondo (in altre parole il numero di vibrazioni nell'unità di tempo di un'onda di lunghezza d'onda  $\lambda$ ). Essa è espressa in unità di tempo,  $(\text{tempo})^{-1}$  e, se il tempo è espresso in secondi, l'unità  $\text{s}^{-1}$  viene chiamata hertz (Hz). La frequenza di un'onda dipende dalla lunghezza d'onda e dalla velocità di propagazione dell'onda,  $v$ , secondo la relazione:

$$\nu = \frac{v}{\lambda}$$

- l'**ampiezza**, che rappresenta l'altezza di un massimo ed è indicativa dell'intensità dell'onda. Come si può notare, per una stessa  $\lambda$  si possono avere ampiezze diverse.



**Figura 1.1** Esempi di onde elettromagnetiche. L'onda A ha lunghezza d'onda maggiore, mentre l'onda B ha frequenza più alta: le onde elettromagnetiche corte hanno frequenze più alte delle onde elettromagnetiche lunghe.

Nel caso delle onde elettromagnetiche la velocità di propagazione nel vuoto è indipendente dalla lunghezza d'onda o dalla frequenza ed è pari a 300.000 km/s (velocità della luce). La velocità della luce nel vuoto viene indicata con  $c$ , per cui la relazione tra frequenza e lunghezza d'onda diventa:

$$\nu = \frac{c}{\lambda}$$

L'insieme delle radiazioni elettromagnetiche a diverse lunghezze d'onda costituisce lo spettro elettromagnetico. Esso si estende dai picometri (raggi

cosmici) a migliaia di chilometri (onde elettriche) ed è riportato nella Figura 1.2. La luce visibile, cioè quella parte dello spettro elettromagnetico percepibile dall'occhio umano, è costituita da radiazioni con lunghezze d'onda comprese tra circa 400 nm (luce violetta) e circa 800 nm (luce rossa).

| Lunghezza d'onda        | Tipo di radiazione  |                     |
|-------------------------|---------------------|---------------------|
| $10^{-5}$ nm            | Raggi cosmici       |                     |
| $10^{-3}$ nm            | Raggi $\gamma$      |                     |
| $10^{-1}$ nm            | Raggi X             |                     |
| $2 \times 10^2$ nm      | Raggi ultravioletti |                     |
| <hr/>                   |                     |                     |
| $3,8 \times 10^2$ nm    | Visibile            | Violetto 400-435 nm |
|                         |                     | Blu 435-480 nm      |
|                         |                     | Verde 500-560 nm    |
|                         |                     | Giallo 580-595 nm   |
| $7,6 \times 10^2$ nm    |                     | Arancio 595-605 nm  |
|                         |                     | Rosso 605-800 nm    |
| <hr/>                   |                     |                     |
| $5 \times 10^3$ nm      | Vicino infrarosso   |                     |
| $10^5$ nm               | Lontano infrarosso  |                     |
| $10^7$ nm               | Microonde           |                     |
| $5,5 \times 10^{11}$ nm | Radioonde           |                     |
| $4,8 \times 10^{12}$ nm | Onde elettriche     |                     |

Figura 1.2 Spettro elettromagnetico.

Quando una sostanza viene eccitata (per esempio per riscaldamento), essa emette delle radiazioni che, fatte passare attraverso un prisma, vengono deviate in maniera differente a seconda della loro lunghezza d'onda. Raccogliendo le radiazioni separate su uno schermo o su una lastra fotografica si ottiene uno **spettro di emissione**.

Se invece una sostanza viene fatta attraversare da un fascio di luce bianca, parte delle radiazioni viene assorbita e le rimanenti radiazioni trasmesse danno luogo ad uno **spettro di assorbimento**.

Nella luce emessa da un corpo solido portato all'incandescenza sono presenti tutte le lunghezze d'onda, per cui lo spettro risultante è continuo. Quando un gas rarefatto viene eccitato (per riscaldamento, con una scarica elettrica), si ottiene invece uno spettro a righe poiché gli atomi del gas possono emettere soltanto radiazioni di frequenza definita. Tali spettri sono caratteristici per ogni elemento e furono osservati per la prima volta da Melville nel 1750. Il più semplice spettro atomico è quello dell'idrogeno.

L'esistenza degli **spettri atomici a righe** e molte altre proprietà dell'atomo non erano spiegabili tramite i modelli atomici di Thomson o di Rutherford. Nel 1913 Niels Bohr, adattando il concetto della quantizzazione dell'energia al modello classico di Rutherford, propose un nuovo modello atomico che permise di ricavare esattamente i dati spettrali dell'atomo di idrogeno.

Il modello scelto da Bohr per rappresentare l'atomo di idrogeno si basava sui seguenti postulati:

- l'elettrone descrive delle orbite circolari, attorno al nucleo;
- sono permesse solo quelle orbite per le quali il **momento angolare** dell'elettrone,  $mvr$ , è un multiplo intero di  $h/2\pi$  ( $m$  rappresenta la massa dell'elettrone,  $v$  la sua velocità,  $r$  è il raggio dell'orbita ed  $h$  è la costante di Planck);
- l'elettrone non irradia quando si trova in un'orbita permessa (**stato stazionario**). Le emissioni di radiazioni avvengono soltanto se l'elettrone passa da un'orbita più esterna ad una più interna permessa e la frequenza della radiazione emessa si può ricavare tramite la relazione:

$$\nu = \frac{(E_2 - E_1)}{h}$$

dove  $E_2$  ed  $E_1$  sono le energie dell'elettrone in due orbite differenti ed  $h$  è la costante di Planck.

Sulla base di questo modello Bohr calcolò i raggi e le energie delle orbite permesse. In particolare per il raggio dell'orbita di più bassa energia detta **stato fondamentale**, ottenne il valore di 53 pm.

Bohr determinò una relazione fra l'energia posseduta dall'elettrone, il raggio dell'orbita ed un numero intero positivo  $n$ .

Lo stato a più bassa energia è quello con  $n = 1$ , mentre gli stati con energie più alte sono caratterizzati da valori più grandi di  $n$ . Il numero intero  $n$  è chiamato **numero quantico principale**.

Se un elettrone passa da un'orbita con energia  $E_2$  ad un'orbita con energia  $E_1$  si avrà emissione di energia secondo l'equazione di Planck,  $(E_2 - E_1) = \Delta E = h\nu$ .

L'impiego di spettrografi a maggiore risoluzione mise in evidenza che le righe dello spettro dell'atomo di idrogeno non erano singole ma erano in realtà costituite da due o più linee molto ravvicinate, dette **multipletti**. L'elettrone non descriveva un'orbita circolare ma piuttosto un'ellisse di cui il nucleo costituiva uno dei due fuochi. La condizione di quantizzazione delle orbite ellittiche richiese l'introduzione di un secondo numero quantico,  $l$ , detto **numero quantico angolare**, che si aggiungeva al **numero quantico principale**,  $n$ , e poteva assumere solo determinati valori interi compresi tra 0 ed  $(n - 1)$ .

Quando l'elettrone percorre la sua orbita attorno al nucleo, genera un campo magnetico simile a quello generato da una corrente elettrica che fluisce in una spirale. Studiando gli spettri degli atomi eccitati sottoposti ad un campo magnetico esterno, vennero osservati ulteriori sdoppiamenti delle righe spettrali (**effetto Zeeman**). Per giustificare questo effetto fu necessario introdurre un terzo numero quantico,  $m$ , detto **numero quantico magnetico**, che teneva conto del fatto che il piano dell'orbita poteva assumere solo determinate orientazioni rispetto alla direzione del campo magnetico. Per un'orbita di

numero quantico angolare  $l$ ,  $m$  poteva assumere tutti i valori compresi tra  $-l$  e  $+l$ , incluso lo zero.

Stern e Gerlach nel 1920, facendo passare un fascio di atomi di argento tra i poli di un magnete che creava un campo magnetico fortemente disuniforme, trovarono che il fascio collimato veniva sdoppiato in modo simmetrico rispetto alla direzione originaria. L'intensità dei due fasci emergenti era la stessa indicando che ciascuno conteneva lo stesso numero di atomi.

Per spiegare questo fenomeno Goudsmit e Uhlenbeck nel 1925 ipotizzarono che l'elettrone durante la sua rotazione attorno al nucleo si comportasse come una trottola che durante la traslazione ruota su se stessa: questa proprietà fu chiamata **spin** dell'elettrone. Poiché questa rotazione può avvenire sia in senso orario che in senso antiorario, i due stati di spin elettronico furono specificati da un quarto numero quantico, detto **numero quantico magnetico di spin**,  $m_s$ , che poteva assumere soltanto i due valori  $+1/2$  e  $-1/2$ .

Fu necessario abbandonare il modello deterministico di Bohr per passare ad un modello "meccanico-ondulatorio", secondo il quale il comportamento dell'elettrone veniva studiato tenendo conto delle sue proprietà ondulatorie e la sua posizione attorno al nucleo veniva definita solo in termini probabilistici. Per introdurre tale modello, è necessario ritornare sul concetto di luce.

Questa presenta secondo Einstein un duplice comportamento, per cui può essere considerata sia come un'onda elettromagnetica che come un fascio di particelle dette fotoni. In particolare, ad un'onda elettromagnetica di frequenza  $\nu$  può essere associato un fotone (particella) con energia  $E = h\nu$ .

Nel 1924, il fisico francese L. de Broglie ipotizzò che anche le particelle materiali potessero avere un comportamento dualistico, cioè potevano comportarsi come corpuscoli o come onde a seconda delle condizioni sperimentali.

Confrontando la relazione di Planck tra energia e frequenza di una radiazione ( $E = h\nu$ ) e l'equazione di Einstein che stabilisce l'equivalenza tra energia e massa ( $E = mc^2$ ), è possibile ottenere una relazione tra la lunghezza d'onda della radiazione e la quantità di moto del fotone.

$$E = h\nu = mc^2$$

Poiché  $\nu = \frac{c}{\lambda}$  si ha:

$$mc^2 = h \frac{c}{\lambda}$$

e quindi:

$$\lambda = \frac{h}{mc}$$

Generalizzando questa espressione al caso di una qualunque particella di massa  $m$  in movimento con velocità  $v$ , si ottiene la **relazione di de Broglie**:

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

Ciò implica che a qualunque particella caratterizzata da una determinata quantità di moto può essere associata un'onda di lunghezza ben definita.

Se l'elettrone si comporta come un'onda dovrebbe quindi dar luogo a fenomeni di diffrazione, come fa la luce quando incide su un reticolo. Perché ciò avvenga le distanze tra le fenditure del reticolo dovrebbero essere paragonabili alla lunghezza d'onda associata all'elettrone che è dello stesso ordine di grandezza delle distanze tra gli atomi nei cristalli.

Per descrivere il moto di una particella occorre conoscere i valori della sua posizione e della sua velocità in qualsiasi istante. Nel 1927, W. Heisenberg dimostrò che non è possibile determinare con sufficiente precisione contemporaneamente la posizione e la velocità di una particella, enunciando il cosiddetto **principio di indeterminazione** la cui formulazione matematica è la seguente:

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$$

dove  $\Delta x$  e  $\Delta p = \Delta(mv)$  ( $m$  = massa e  $v$  = velocità della particella) rappresentano gli errori commessi nella determinazione della posizione e del momento della particella, ed  $h$  è la costante di Planck.

Ciò significa, per esempio, che tanto maggiore sarà la precisione con la quale determiniamo la posizione dell'elettrone, tanto minore sarà la precisione con la quale possiamo conoscere la sua velocità, e viceversa.

Nel 1926, il fisico austriaco Erwin Schrödinger propose un modello ondulatorio per descrivere il comportamento dell'elettrone nell'atomo di idrogeno.

Schrödinger descrisse il comportamento dell'elettrone orbitante attorno al nucleo come quello di un' **onda stazionaria**, per cui propose un'equazione d'onda che permetteva di rappresentare l'onda associata all'elettrone.

Risolvendo l'equazione di Schrödinger si ottengono delle funzioni d'onda  $\psi$  che non hanno un ben definito significato fisico, ma sono caratterizzate da un preciso valore di energia che può essere paragonato con i valori ottenuti sperimentalmente.

Esistono infinite funzioni d'onda  $\psi$ , che sono possibili soluzioni dell'equazione di Schrödinger, ma tra di esse sono accettabili soltanto quelle che soddisfano determinate condizioni e che sono chiamate **autofunzioni**.

Il movimento dell'elettrone avviene in tre dimensioni, per cui le soluzioni accettabili dell'equazione d'onda derivano dalla combinazione di tre costanti, dette **numeri quantici** e indicate con le lettere **n**, **l**, **m**, che devono essere legate tra di loro da relazioni ben definite.

Il numero quantico **n**, o **numero quantico principale**, può assumere tutti i valori interi da 1 ad  $\infty$ :

$$n = 1, 2, 3, \dots, \infty$$

Il numero quantico **l**, detto **numero quantico secondario** o **azimutale**, dipende dal numero quantico principale  $n$  e può assumere tutti i valori interi compresi tra 0 e  $(n - 1)$ :

$$l = 0, 1, 2, \dots, (n - 1)$$

Il numero quantico **m**, o **numero quantico magnetico**, dipende dal numero quantico secondario  $l$  e può assumere tutti i valori interi compresi tra  $-l$  e  $+l$ :

$$m = -l, \dots, -2, -1, 0, 1, 2, \dots, l$$





# il **nuovo** concorso a cattedra

Il presente volume si pone come utile strumento di studio per quanti si apprestano alla preparazione del **concorso a cattedra** per le classi il cui programma d'esame comprende le **Scienze e tecnologie chimiche** e contiene sia le principali **conoscenze teoriche** necessarie per superare tutte le fasi della selezione concorsuale, che preziosi **spunti operativi** per l'ordinaria attività d'aula.

Il testo presenta una trattazione completa di tutti gli argomenti oggetto del programma d'esame, funzionale ad una rapida revisione delle conoscenze pregresse.

Tra i principali argomenti affrontati nel volume:

- Chimica generale: struttura dell'atomo e teorie atomiche, tavola periodica degli elementi, principali tipi di legame chimico, teoria degli orbitali molecolari, stati della materia, elettrochimica;
- Chimica fisica: termodinamica, cinetica chimica, velocità di reazione e catalisi;
- Chimica organica: sintesi organica, gruppi funzionali e meccanismi di reazione;
- Chimica analitica: analisi gravimetriche e volumetriche, titolazioni;
- Chimica analitica strumentale: spettroscopia, cromatografia, gas cromatografia;
- Biochimica: carboidrati, lipidi, proteine e relativo metabolismo, bioenergetica;
- Chimica dei polimeri: struttura, proprietà e classificazione;
- Processi chimici industriali: distillazione, evaporazione, estrazione, processi biotecnologici, reattori chimici, catalizzatori, sistemi automatici di controllo, petrolio e combustibili;
- Tecnologie chimiche: tecnologia degli alimenti, delle ceramiche, odontotecnica;
- Aspetti normativi: sicurezza nel laboratorio chimico, prevenzione degli infortuni, igiene del lavoro nell'industria chimica, norme UNICHIM

Il manuale è completato da ulteriori **materiali didattici, approfondimenti e risorse** di studio accessibili **online** dalla propria area riservata.

I servizi web sono disponibili per 12 mesi dall'attivazione del codice.

## PER COMPLETARE LA PREPARAZIONE:

CC 1/1 • **AVVERTENZE GENERALI** • ISBN: 9788893622653



www.edises.it  
info@edises.it

 Per essere sempre aggiornato seguici su Facebook  
[facebook.com/ilconcorsoacattedra](https://facebook.com/ilconcorsoacattedra)

Clicca su mi piace  per ricevere gli aggiornamenti.



€ 28,00

