

tfa

tirocinio **formativo** attivo

II edizione

# Scienze e tecnologie chimiche

**manuale per prove scritte e orali**

per la classe di abilitazione

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



Comprende **software**  
per effettuare infinite  
esercitazioni





# Accedi ai servizi riservati



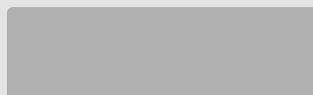
COLLEGATI AL SITO  
**EDISES.IT**

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*



TFA

---

# Scienze e tecnologie chimiche

---

Manuale teorico  
per la classe di abilitazione

A34 Scienze e tecnologie  
chimiche

A013 Chimica e tecnologie  
chimiche



TFA – Scienze e tecnologie chimiche – Manuale teorico – II Edizione  
Copyright © 2016, 2014, EdiSES S.r.l. – Napoli

9 8 7 6 5 4 3 2 1 0  
2020 2019 2018 2017 2016

*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

*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.*

*Fotoincisione: R.ES. Centro Prestampa S.n.c. – Napoli*

*Stampato presso Pittogramma S.r.l. – Napoli*

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

ISBN 978 88 6584 743 5

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

# Premessa

Il presente lavoro è concepito come supporto per quanti si accingono ad affrontare le prove di selezione del tirocinio formativo attivo e costituisce un valido strumento di ausilio per tutti coloro che intendono intraprendere la professione docente.

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 Premessa

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/iltirocinioformativoattivo**

Clicca su  (Facebook) per ricevere gli aggiornamenti

# 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 reazione elettrodoica .....	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



## XII Indice

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 $S_N2$ 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- metallici ..... 152
10.4.3	L'idroborazione-ossidazione degli alcheni..... 153
10.4.4	L'ossimercuriazione-demercuriatura 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- 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 acide..... 159
10.6.2	La reazione fra un alcol e un alogenuro alchilico in condizioni 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- 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 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 diazo ( $-N_2^+$ ). 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



## XIV Indice

<b>Capitolo 12 – Metabolismo dei carboidrati, dei grassi e delle proteine</b>	
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
<b>Capitolo 13 – La sicurezza nel laboratorio chimico</b>	
13.1	Norme di sicurezza in laboratorio ..... 205
13.2	Norme antincendio ..... 207
13.3	Classificazione dei prodotti chimici ..... 208
13.4	Rifiuti..... 210
<b>Capitolo 14 – Analisi gravimetriche e volumetriche</b>	
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



## XVI Indice

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 sospese 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	Miscelamento.....	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 2

## Lo stato solido e lo stato gassoso

### 2.1 I solidi: generalità

Quando una sostanza si trova sotto forma di solido, essa presenta volume e forma propri. Le particelle di cui sono costituiti i solidi non sono dotate di energia cinetica traslazionale. L'energia cinetica delle particelle di un solido è solo di tipo vibrazionale, cioè sono possibili solo vibrazioni rispetto ad una posizione di equilibrio dotata di minima energia. L'entità delle vibrazioni dipende dalla temperatura e dalla forza delle interazioni che si esercitano tra le particelle.

Esistono solidi cristallini e solidi amorfi. I primi (ad esempio molti metalli e sali) possiedono una specifica struttura geometrica ordinata, detta **reticolo cristallino** a differenza dei secondi (ad esempio i vetri e molte materie plastiche) per i quali la disposizione delle particelle è casuale.

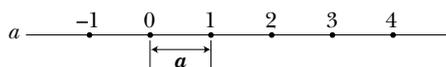
Le proprietà dei solidi cristallini sono diverse da quelle dei solidi amorfi: ad esempio i primi hanno un definito **punto** o **temperatura di fusione**, che corrisponde alla temperatura alla quale avviene il passaggio di stato solido-liquido sotto una pressione esterna costante. I solidi amorfi, invece, non hanno un punto di fusione netto, ma fondono di solito in un ampio intervallo di temperatura.

Per i solidi cristallini è possibile una classificazione basata sulle loro forme geometriche o sulla natura del legame tra le particelle nel reticolo cristallino.

È importante notare, infine, che alcune proprietà fisiche dei solidi, come ad esempio la durezza, la sfaldabilità, la conducibilità elettrica, l'indice di rifrazione, ecc., possono essere direzionali, cioè possono cambiare a secondo della direzione considerata. Questa caratteristica, che è tipica dei solidi cristallini quando essi sono formati da cristalli singoli, si chiama **anisotropia**.

### 2.2 Concetti di struttura nei solidi cristallini

Consideriamo una serie ordinata di punti distribuiti lungo una retta ad una distanza  $a$  l'uno dall'altro.

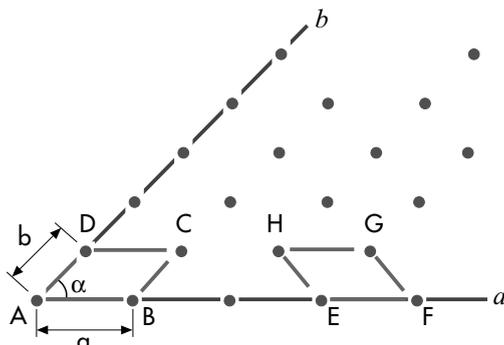


Per individuare la posizione di due punti generici sulla retta  $a$ , che può essere considerata come asse  $x$ , è sufficiente indicare due numeri, ad esempio 0 e 1,



con la convenzione che tutti gli altri punti si trovino in posizioni individuate da altri numeri interi,  $-1, 2, 3$  ecc. Nel caso in cui al posto dei punti si abbiano delle particelle, la disposizione di questo filare di particelle viene chiamata **reticolo ad una dimensione**. In esso una coppia di numeri individua due particelle che corrispondono alla cosiddetta **cella elementare** (o **unitaria**) **ad una dimensione**.

Se ora vogliamo descrivere una serie ordinata di punti o di particelle disposti in due dimensioni, cioè in un piano, bisogna utilizzare due rette  $a$  e  $b$ , che possono essere considerate come assi  $x$  e  $y$ , e l'angolo  $\alpha$  tra di esse (vedi Figura 2.1).



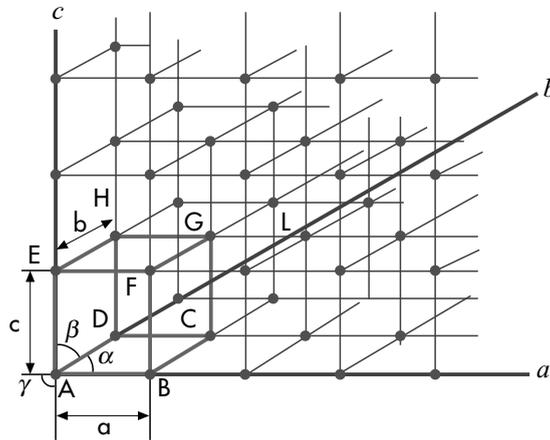
**Figura 2.1** Rappresentazione di punti a due dimensioni: reticolo a due dimensioni.

Le distanze costanti tra i punti disposti su queste rette vengono chiamate  $a$  e  $b$  e l'insieme dei punti ABCD rappresenta la **cella elementare a due dimensioni**. In base alle coordinate scelte, il punto E è individuato dalla coppia di numeri  $(3,0)$ , il punto F da  $(4,0)$ , il punto G da  $(3,1)$  e il punto H da  $(2,1)$ . La ripetizione della cella elementare a due dimensioni costituisce un **reticolo a due dimensioni**.

Se si vuole rappresentare una serie ordinata di punti in tre dimensioni bisogna utilizzare tre rette  $a$ ,  $b$  e  $c$ , che possono essere considerate come assi  $x$ ,  $y$ ,  $z$  (che non sono necessariamente assi cartesiani ortogonali), e gli angoli  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  formati tra di esse (vedi Figura 2.2).

Le distanze costanti tra i punti disposti su queste rette vengono chiamate  $a$ ,  $b$  e  $c$  ed un insieme di otto punti, ABCDEFGH, individua la **cella elementare a tre dimensioni**. Il **reticolo cristallino** si può immaginare quindi formato dalla ripetizione regolare lungo tre direzioni della cella elementare a tre dimensioni, che rappresenta la sua unità costitutiva fondamentale e che ha sempre la forma di un parallelepipedo. I cristalli di una stessa specie cristallina, inoltre, hanno costanti gli angoli diedri formati dalle superfici piane che delimitano il cristallo: tali superfici vengono chiamate **facce**.

Nell'esempio riportato in Figura 2.2,  $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$  e  $a = b = c$ . Allora la figura geometrica ottenuta individua un cubo che rappresenta il più semplice e simmetrico insieme di punti che, ripetuto nelle tre dimensioni, riproduce la disposizione geometrica del solido cristallino. Questi punti che rappresentano le posizioni occupate dalle particelle del solido sono detti **punti o nodi o siti reticolari**.



**Figura 2.2** Rappresentazione di punti a tre dimensioni: reticolo tridimensionale.  $\alpha$  è l'angolo formato tra gli assi  $a$  e  $b$ ,  $\beta$  l'angolo tra  $b$  e  $c$ ,  $\gamma$  l'angolo tra  $a$  e  $c$ .

## 2.3 Sistemi cristallini

Esistono solo **sette** diversi tipi di celle elementari alle quali corrispondono **sette sistemi cristallini**. In Figura 2.3 sono riportate le celle elementari dei sette sistemi cristallini.

Se mettiamo un punto reticolare in ogni angolo della cella elementare, otteniamo una **cella primitiva**. Tutti i sette reticoli in Figura 2.3 sono reticoli primitivi.

È anche possibile generare quelli che vengono chiamati *reticoli centrati* posizionando un punto reticolare in posizioni specifiche nella cella elementare. Questo viene illustrato per un reticolo cubico in Figura 2.4. Un **reticolo cubico a corpo centrato** possiede un punto reticolare al centro della cella elementare in aggiunta ai punti reticolari agli otto angoli. Un **reticolo cubico a facce centrate** ha un solo punto reticolare al centro di ciascuna delle sei facce della cella elementare in aggiunta ai punti reticolari agli otto angoli. I reticoli centrati esistono anche per altri tipi di celle elementari.

## 2.4 Il riempimento di una cella elementare

Il reticolo di per sé non definisce la struttura di un cristallo. Per generare una struttura cristallina, dobbiamo associare un atomo o un gruppo di atomi ad ogni punto del reticolo.

Nel caso più semplice, la struttura del cristallo consiste di atomi identici, ed ogni atomo giace direttamente su un punto reticolare. Si tenga a mente che *solo gli elementi* possono formare strutture di questo tipo. Per i composti, anche se mettessimo un atomo in ogni punto reticolare, i punti non sarebbero identici in quanto gli atomi non sono tutti uguali.

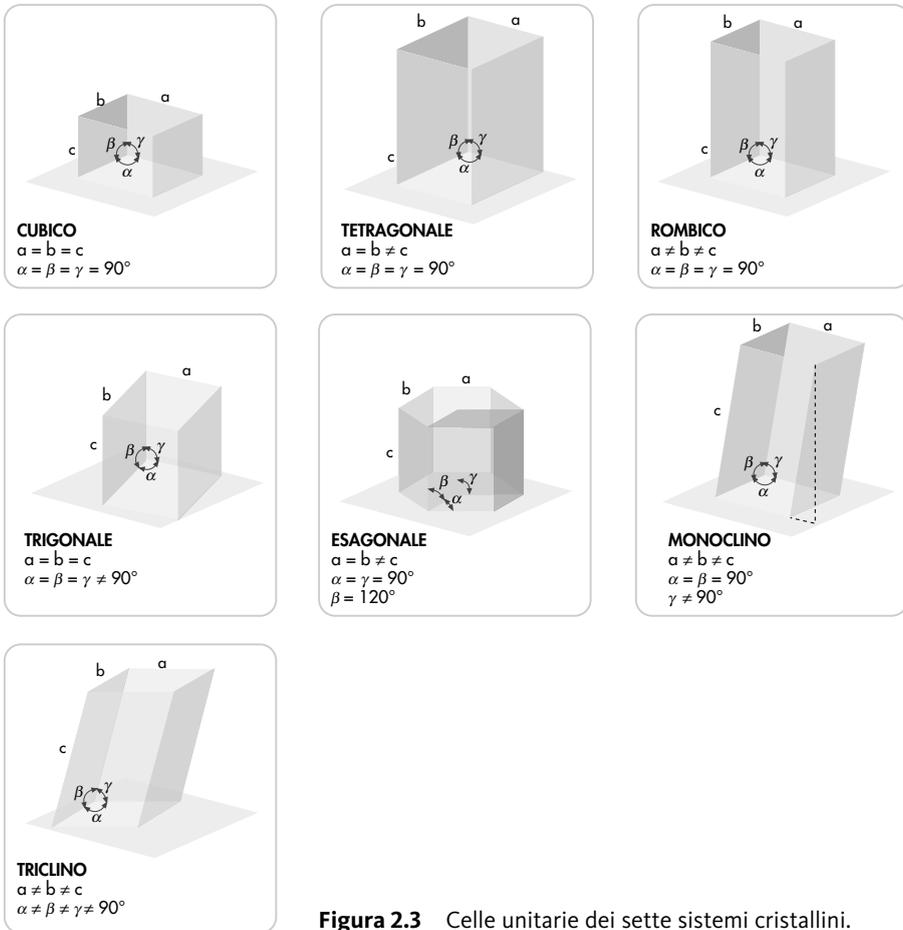


Figura 2.3 Celle unitarie dei sette sistemi cristallini.

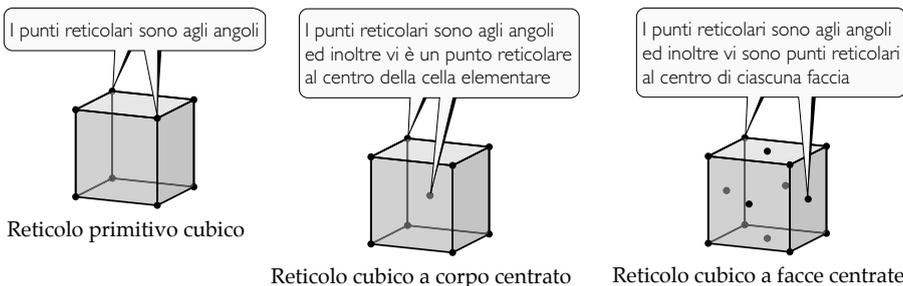


Figura 2.4 I tre tipi di reticoli cubici.

### 2.4.1 Le strutture dei solidi metallici

Le strutture dei cristalli di molti metalli sono semplici abbastanza da poter essere generate posizionando un singolo atomo in ogni punto reticolare. I metalli con una struttura cubica primitiva sono rari, uno dei pochi esempi è l'elemento radioattivo polonio. I metalli a corpo centrato includono il ferro, il cromo, il sodio, e il tungsteno. Esempi di metalli cubici a facce centrate sono l'alluminio, il piombo, il rame, l'argento e l'oro.

Gli atomi negli angoli e sulle facce della cella elementare non appartengono totalmente alla cella elementare stessa. Gli atomi agli angoli e sulle facce sono condivisi con le celle elementari confinanti. Poiché un cubo ha otto angoli, ogni cella elementare cubica primitiva contiene  $(1/8) \times 8 = 1$  atomo. In modo simile, ogni cella elementare a corpo centrato contiene due atomi,  $(1/8) \times 8 = 1$  agli angoli e 1 al centro della cella elementare. Gli atomi che si trovano sulla faccia della cella elementare, come ad esempio in un metallo cubico a facce centrate, sono condivisi da due celle elementari in modo che solo mezzo atomo appartiene a ogni cella elementare. Perciò, una cella elementare cubica a facce centrate contiene quattro atomi,  $(1/8) \times 8 = 1$  atomo agli angoli e  $(1/2) \times 6 = 3$  atomi alle facce.

### 2.4.2 Impaccamento compatto

Poiché gli atomi sono oggetti sferici, possiamo capire le strutture dei metalli considerando come si impaccano le sfere. Il modo più efficiente per impaccare uno strato di sfere di uguale dimensione è circondare ogni sfera con sei sfere, come mostrato in Figura 2.5. Per formare una struttura tridimensionale, abbiamo bisogno di impilare degli strati aggiuntivi al di sopra dello strato di base. Per massimizzare l'efficienza dell'impaccamento, il secondo strato di sfere si deve posizionare sui solchi formati dalle sfere del primo strato. Se partiamo posizionando un atomo in un solco chiamato b1, le sfere rimanenti riempiranno tutti i solchi contrassegnati dai puntini gialli. Se dovessimo riempire per primo il solco contrassegnato con c1, tutti i solchi contrassegnati con i puntini rossi sarebbero riempiti.

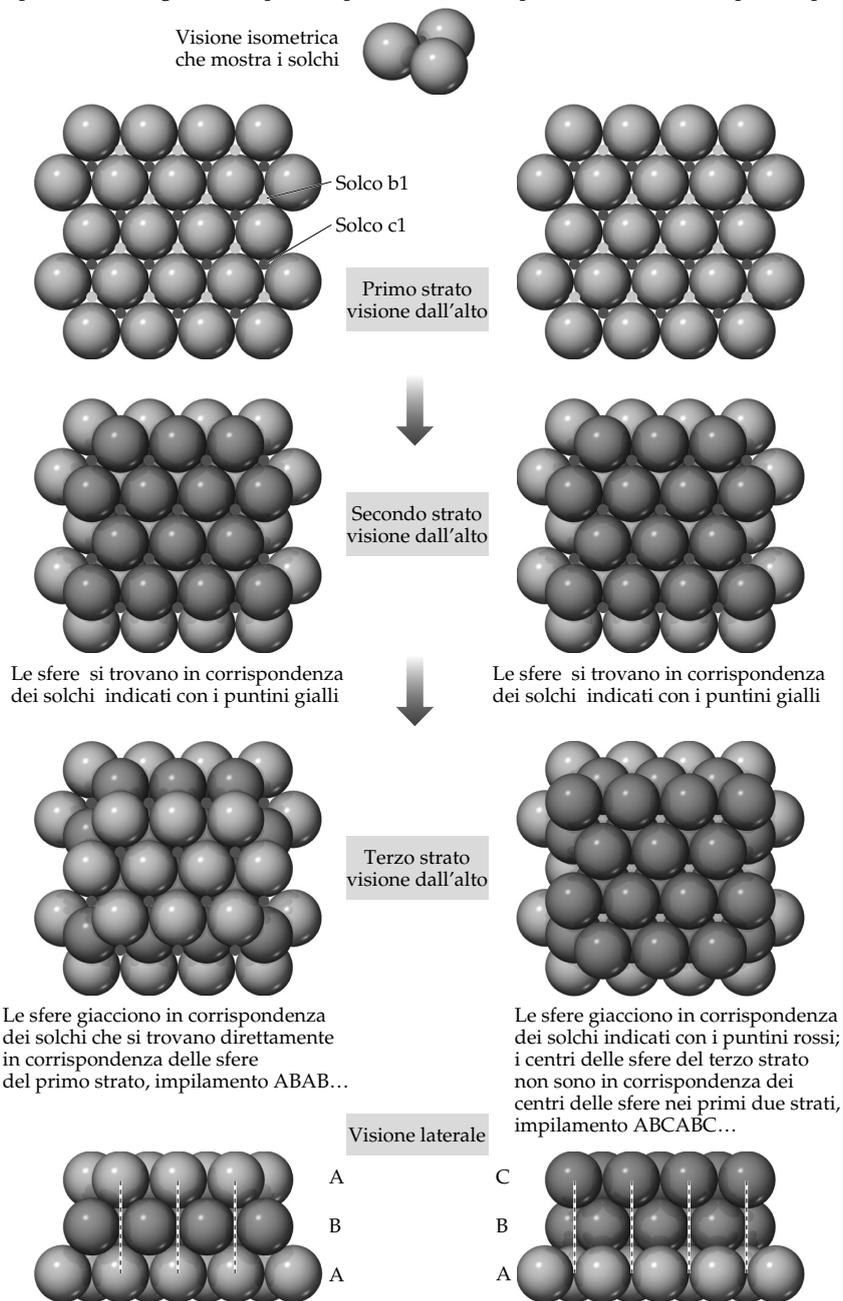
È importante capire che le sfere sono troppo grosse perché riempiano simultaneamente entrambi i set di solchi. Per semplificare la discussione arbitrariamente posizioneremo il secondo strato nei solchi contrassegnati dai puntini gialli.

Per il terzo strato, abbiamo due possibilità di posizionamento delle sfere. Una è quella di mettere il terzo strato in corrispondenza dei solchi che giacciono direttamente sopra le sfere del primo strato. Questo viene mostrato nella parte sinistra della Figura 2.5, ed evidenziato dalle linee tratteggiate nella visione laterale. Continuando in questa maniera, il quarto livello si troverebbe direttamente in corrispondenza delle sfere del secondo strato, portando all'impilamento ABAB mostrato a sinistra. Questo tipo di impilamento viene chiamato **impaccamento esagonale compatto** (in inglese, hcp). Alternativamente,



**Impaccamento esagonale compatto (hcp)**

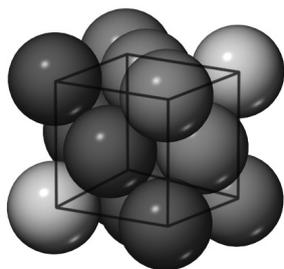
**Impaccamento cubico compatto (ccp)**



**Figura 2.5** Impaccamento compatto di sfere di eguali dimensioni. L'impaccamento esagonale compatto (a sinistra) e l'impaccamento cubico compatto (a destra) sono modi ugualmente efficienti per impaccare le sfere.

il terzo strato di sfere potrebbe disporsi direttamente in corrispondenza dei solchi marcati con i puntini rossi nel primo strato. In questa disposizione le sfere nel terzo strato non si trovano direttamente sopra le sfere degli strati sottostanti, come mostrato dalle linee tratteggiate nella visione laterale in basso a destra in Figura 2.5. Gli strati successivi ripetono questa sequenza portando all'impilamento di tipo ABCABC mostrato a destra.

Questo tipo di impilamento viene chiamato **impaccamento cubico compatto** (in inglese, ccp). Sia nell'impaccamento esagonale compatto che in quello cubico compatto, ogni sfera ha 12 sfere vicine equidistanti: sei nello stesso strato, tre nello strato sopra, e tre nello strato sotto. Diciamo che ogni sfera ha un **numero di coordinazione** pari a 12. Il numero di coordinazione è il numero di atomi che circonda immediatamente un dato atomo in una struttura cristallina.



**Figura 2.6** La cella elementare per un metallo ad impaccamento cubico compatto.

Anche se non immediatamente ovvio, la struttura che risulta dall'impaccamento cubico compatto possiede una cella elementare che è identica alla cella elementare a facce centrate. La relazione tra l'impilamento ABC e la cella elementare cubica a facce centrate è mostrata in Figura 2.6.

### 2.4.3 Le leghe

Una **lega** è un materiale che contiene più di un elemento e ha le proprietà caratteristiche di un metallo. Le leghe metalliche sono di grande importanza perché permettono di modificare le proprietà degli elementi metallici puri. Il bronzo è formato dalla lega fra rame e stagno, mentre l'ottone è una lega di rame e zinco.

Le leghe possono essere divise in quattro categorie: leghe sostituzionali, leghe interstiziali, leghe eterogenee e composti intermetallici. Le leghe sostituzionali ed interstiziali sono entrambe miscele omogenee in cui i componenti sono dispersi in maniera casuale e uniforme. I solidi che formano miscele omogenee vengono chiamati soluzioni solide.

Quando gli atomi del soluto in una soluzione solida occupano le posizioni normalmente occupate dagli atomi del solvente, abbiamo una **lega sostituzio-**

**nale.** Quando gli atomi di soluto occupano le posizioni interstiziali nei “buchi” tra gli atomi di solvente, abbiamo le **leghe interstiziali**.

Le leghe sostituzionali si formano quando i due componenti metallici hanno raggi atomici simili e simili caratteristiche di legame chimico. Per esempio, l'argento e l'oro formano una lega su tutto l'intervallo delle possibili composizioni.

Affinché si formi una lega interstiziale, gli atomi di soluto devono avere un raggio atomico di legame più piccolo rispetto a quello degli atomi di solvente. Tipicamente, l'elemento interstiziale è un non metallo che forma legami covalenti con gli atomi metallici vicini. La presenza di questi legami extra, forniti dal componente interstiziale, rende il reticolo metallico più duro, più forte, e meno duttile. Per esempio, l'acciaio, che è molto più duro e forte del ferro puro, è una lega di ferro che contiene fino al 3% di carbonio.

I **composti intermetallici** sono composti più che miscele. Poiché essi sono composti, hanno proprietà definite e la loro composizione non può essere modificata. A differenza degli atomi nelle leghe interstiziali e sostituzionali, i differenti tipi di atomi nei composti intermetallici sono disposti in maniera ordinata piuttosto che casuale. L'ordine degli atomi nei composti intermetallici generalmente porta ad una migliore stabilità strutturale e a punti di fusione più elevati rispetto a quanto si osserva nei metalli costituenti.

I composti intermetallici giocano ruoli molto importanti nella moderna società. Il composto intermetallico  $\text{Ni}_3\text{Al}$  è il maggiore componente dei motori dei jet aircraft a causa della sua resistenza alle alte temperature e alla sua bassa densità. Il composto  $\text{Nb}_3\text{Sn}$  è un superconduttore, una sostanza che, quando raffreddata al di sotto di una certa temperatura, conduce elettricità senza resistenza. Nel caso di  $\text{Nb}_3\text{Sn}$  viene osservata superconducibilità solo quando la temperatura viene abbassata a 18 K. I superconduttori vengono impiegati nei magneti degli apparecchi di risonanza magnetica nucleare (NMR).

## 2.5 Il legame metallico

I metalli non hanno abbastanza elettroni nel guscio di valenza per soddisfare le loro richieste di legame formando legami con coppie di elettroni localizzate. Come risposta a questa mancanza, gli elettroni di valenza vengono condivisi collettivamente. Una struttura in cui gli atomi sono impaccati in maniera compatta facilita questa condivisione delocalizzata di elettroni.

### 2.5.1 Il modello a mare di elettroni

Un semplice modello che spiega alcune delle più importanti caratteristiche dei metalli è il **modello a mare di elettroni**, che raffigura il metallo come un insieme di cationi metallici in un “mare” di elettroni di valenza. Gli elettroni sono confinati verso il metallo mediante attrazioni elettrostatiche con i cationi, e sono uniformemente distribuiti attraverso la struttura. Gli elettroni sono

mobili, nessun elettrone singolo è confinato su un particolare ione metallico. Quando viene applicato un forte voltaggio ad un filo metallico, gli elettroni, essendo carichi negativamente, fluiscono attraverso il metallo verso il terminale positivo del filo.

La elevata conducibilità termica dei metalli viene anche spiegata dalla presenza degli elettroni mobili. Il movimento degli elettroni in risposta ai gradienti di temperatura permette il rapido trasferimento di energia cinetica attraverso il solido.

La capacità dei metalli di deformarsi (la loro malleabilità e duttilità) può essere spiegata col fatto che gli atomi metallici formano legami con molti atomi vicini. I cambiamenti nelle posizioni degli atomi metallici in seguito al cambiamento di forma del metallo sono in parte bilanciati dalla ridistribuzione degli elettroni.

### 2.5.2 Il modello degli orbitali molecolari

Sebbene il modello a mare di elettroni lavori sorprendentemente bene nonostante la sua semplicità, non spiega però molte proprietà dei metalli. In base al modello, per esempio, la forza di legame tra gli atomi metallici dovrebbe costantemente aumentare all'aumentare del numero di elettroni di valenza, e ciò comporterebbe inevitabilmente un incremento dei punti di fusione. Comunque, gli elementi vicini al centro della serie dei metalli di transizione, piuttosto che quelli alla fine, hanno i punti di fusione più alti nei loro rispettivi periodi. Questo andamento implica che la forza del legame metallico prima aumenta all'aumentare del numero di elettroni e poi diminuisce.

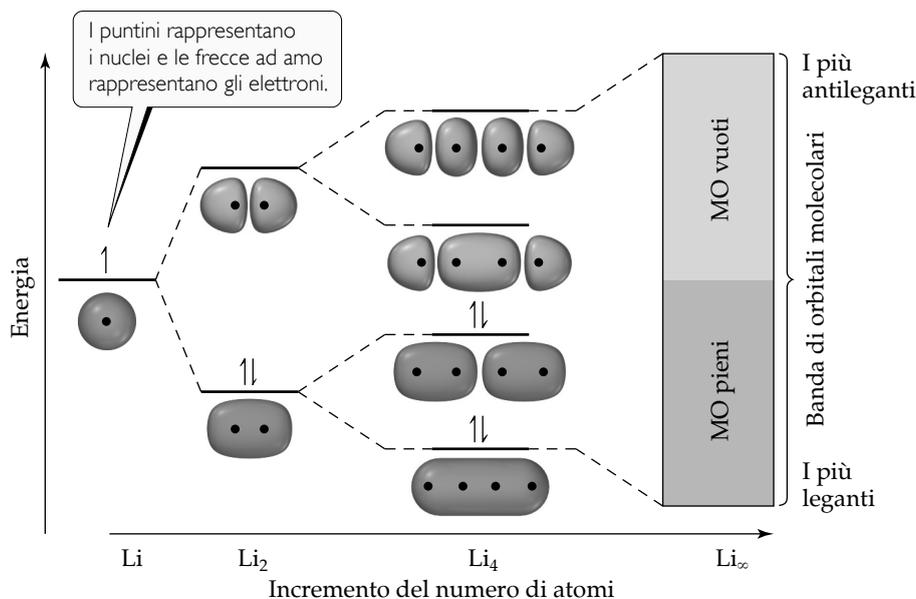
Per ottenere un quadro più accurato dei legami nei metalli, dobbiamo tornare alla teoria degli orbitali molecolari. Ricapitoliamo brevemente alcune regole della teoria degli orbitali molecolari:

- Gli orbitali atomici si combinano per formare gli orbitali molecolari che si estendono sull'intera molecola.
- Un orbitale molecolare può contenere zero, uno o due elettroni.
- Il numero di orbitali molecolari in una molecola è pari al numero di orbitali atomici che si combinano per formare gli orbitali molecolari.

Consideriamo come il diagramma degli orbitali molecolari per una catena di atomi di litio cambia all'aumentare della lunghezza della catena (Figura 2.7). Ogni atomo di litio contiene un orbitale 2s parzialmente riempito nel suo guscio di valenza. Per  $\text{Li}_4$  ci sono quattro orbitali molecolari, che vanno dall'orbitale molecolare a più bassa energia, dove le interazioni orbitaliche sono completamente di legame, all'orbitale molecolare a più alta energia, dove tutte le interazioni sono di antilegame.

All'aumentare della lunghezza della catena, il numero di orbitali molecolari aumenta. Senza considerare la lunghezza della catena, gli orbitali a più bassa energia sono sempre i più leganti e gli orbitali molecolari a più alta energia

sono sempre i più antileganti. Inoltre, poiché ogni atomo di litio ha solo un orbitale atomico nel guscio di valenza, il numero di orbitali molecolari è uguale al numero di atomi di litio nella catena. Poiché ogni atomo di litio ha un solo elettrone di valenza, la metà degli orbitali molecolari è totalmente occupata e l'altra metà è vuota, senza considerare la lunghezza della catena.



**Figura 2.7** I livelli di energia discreti nelle molecole singole diventano bande continue di energia in un solido.

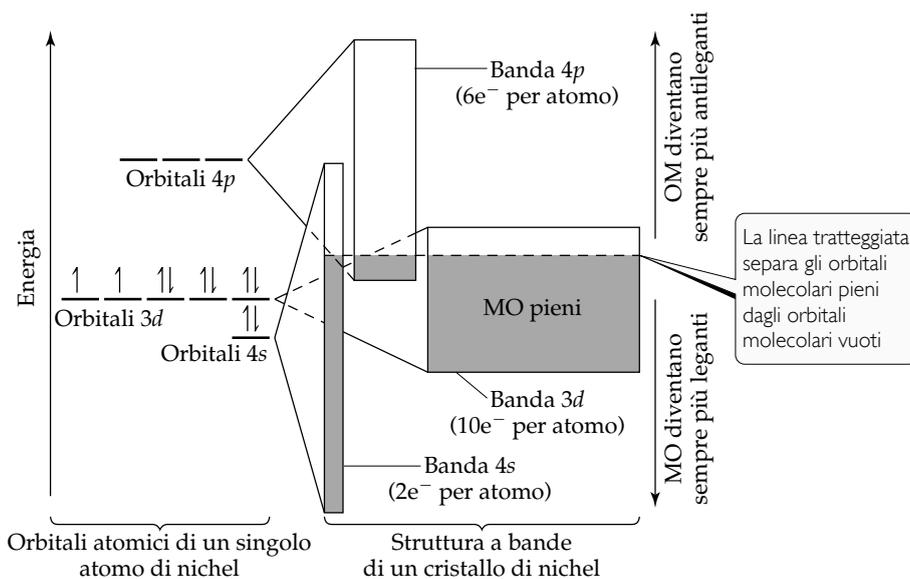
Se la catena diventa molto lunga, ci sono così tanti orbitali molecolari che la separazione energetica tra di loro diventa sempre più piccola. Se la catena diventasse di lunghezza infinita, gli stati energetici permessi diventerebbero una **banda** continua.

Le strutture elettroniche di molti metalli sono più complicate di quelle mostrate in Figura 2.7 poiché dobbiamo considerare più di un tipo di orbitale atomico su ogni atomo. Poiché ogni tipo di orbitale può dar vita alla sua banda, la struttura elettronica di un solido di solito consiste di una serie di bande. La struttura elettronica di un solido viene chiamata **struttura a bande**.

La struttura a bande per un metallo tipico è mostrata schematicamente in Figura 2.8. Il riempimento degli elettroni raffigurato corrisponde al metallo nichel. La configurazione elettronica di un atomo di nichel è  $[\text{Ar}]3d^84s^2$ , come mostrato sul lato sinistro della figura. Le bande energetiche che si formano da ciascuno di questi orbitali sono mostrate sulla destra. Gli orbitali 4s, 4p e 3d vengono trattati indipendentemente, ed ognuno dà luogo ad una banda di orbitali molecolari. In pratica, queste bande di sovrapposizione non sono

completamente indipendenti fra loro, ma per i nostri propositi questa semplificazione è ragionevole.

Le bande 4s, 4p, e 3d differiscono dalle altre nell'intervallo energetico che esse abbracciano (rappresentato dalle altezze dei rettangoli sul lato destro della Figura 2.8) e nel numero di elettroni che possono ospitare (rappresentato dall'area dei rettangoli); le bande 4s, 4p e 3d possono ospitare 2, 6 e 10 elettroni per atomo, rispettivamente, due per orbitale, come dettato dal principio di esclusione di Pauli. L'intervallo energetico abbracciato dalla banda 3d è più piccolo dell'intervallo abbracciato dalle bande 4s e 4p in quanto gli orbitali 3d sono più piccoli e perciò la sovrapposizione con gli orbitali sugli atomi vicini è meno efficiente.



**Figura 2.8** La struttura elettronica a bande del nichel.

Molte proprietà dei metalli possono essere capite dalla Figura 2.8. Possiamo pensare che le bande energetiche siano solo parzialmente riempite dagli elettroni. Il riempimento incompleto della banda energetica porta alle caratteristiche proprietà metalliche. Gli elettroni negli orbitali vicini alla parte superiore dei livelli occupati richiedono molta poca energia per essere “promossi” agli orbitali a più alta energia non occupati. Sotto l’influenza di una sorgente di eccitazione, come ad esempio un potenziale elettrico o calore, gli elettroni si muovono nei livelli non occupati e sono così liberi di muoversi nel reticolo, determinando la conducibilità elettrica e termica.

Senza la sovrapposizione delle bande energetiche, le proprietà periodiche dei metalli non potrebbero essere spiegate. In assenza delle bande d e p, ci aspetteremmo che la banda s sia riempita per metà per i metalli alcalini e

La collana è rivolta a quanti desiderano acquisire l'**abilitazione all'insegnamento** nelle scuole e devono pertanto superare gli esami di ammissione previsti dalla normativa sulla formazione del personale docente.

## Scienze e tecnologie chimiche manuale per prove scritte e orali

Il testo punta ad una trattazione rigorosa ma essenziale, funzionale ad una rapida revisione delle conoscenze pregresse e può essere utilmente affiancato dagli eserciziari della stessa collana.

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 volume è completato da un **software di simulazione** mediante cui effettuare infinite esercitazioni di verifica delle conoscenze acquisite.

**Per completare la preparazione:**

 **Scienze naturali, matematiche e fisiche - esercizi commentati**  
ISBN 9788865846049

 sfoglia le demo su [edises.it](http://edises.it)

t<sub>30</sub>

Per essere sempre aggiornato seguici su Facebook 

[facebook.com/iltirocinioformativoattivo](https://facebook.com/iltirocinioformativoattivo)

Clicca su mi piace  per ricevere gli aggiornamenti.



[www.edises.it](http://www.edises.it)  
[info@edises.it](mailto:info@edises.it)



€ 28,00

