

# INDICE

<b>CAPITOLO 1 SPETTROMETRIA DI MASSA</b>		
<b>1.1</b>	Introduzione	1
<b>1.2</b>	Strumentazione	2
<b>1.3</b>	Metodi di ionizzazione	3
<b>1.3.1</b>	Metodi di ionizzazione in fase gassosa	3
<b>1.3.1.1</b>	Ionizzazione a impatto elettronico	3
<b>1.3.1.2</b>	Ionizzazione chimica	3
<b>1.3.2</b>	Metodi di ionizzazione per desorbimento	4
<b>1.3.2.1</b>	Ionizzazione per desorbimento di campo	5
<b>1.3.2.2</b>	Ionizzazione per bombardamento con atomi veloci	5
<b>1.3.2.3</b>	Ionizzazione per desorbimento da plasma	6
<b>1.3.2.4</b>	Ionizzazione per desorbimento da laser	6
<b>1.3.3</b>	Metodi di ionizzazione evaporativi	6
<b>1.3.3.1</b>	Spettrometria di massa termospray	6
<b>1.3.3.2</b>	Spettrometria di massa elettrospray	6
<b>1.4</b>	Analizzatori di massa	7
<b>1.4.1</b>	Spettrometro di massa a settore magnetico	8
<b>1.4.2</b>	Spettrometro di massa a quadrupolo	9
<b>1.4.3</b>	Spettrometro di massa a trappola ionica	10
<b>1.4.4</b>	Spettrometro di massa a tempo di volo	12
<b>1.4.5</b>	Spettrometro di massa a trasformata di Fourier	12
<b>1.4.6</b>	Spettrometria di massa tandem	12
<b>1.5</b>	Interpretazione degli spettri di massa EI	13
<b>1.5.1</b>	Riconoscimento del picco dello ione molecolare	14
<b>1.5.2</b>	Determinazione di una formula molecolare	14
<b>1.5.2.1</b>	Ione molecolare a bassa risoluzione e picchi isotopici	14
<b>1.5.2.2</b>	Ione molecolare ad alta risoluzione	15
<b>1.5.3</b>	Utilizzo della formula molecolare. Indice di deficienza di idrogeno	16
<b>1.5.4</b>	Frammentazione	17
<b>1.5.5</b>	Riarrangiamenti	19
<b>1.6</b>	Spettri di massa di alcune classi chimiche	19
<b>1.6.1</b>	Idrocarburi	19
<b>1.6.1.1</b>	Idrocarburi saturi	19
<b>1.6.1.2</b>	Alcheni (olefine)	20
<b>1.6.1.3</b>	Idrocarburi aromatici e aril-alchilici	21
<b>1.6.2</b>	Composti ossidrilati	22
<b>1.6.2.1</b>	Alcoli	22
<b>1.6.2.2</b>	Fenoli	24
<b>1.6.3</b>	Eteri	25
<b>1.6.3.1</b>	Eteri alifatici (e acetali)	25
<b>1.6.3.2</b>	Eteri aromatici	26
<b>1.6.4</b>	Chetoni	27
<b>1.6.4.1</b>	Chetoni alifatici	27
<b>1.6.4.2</b>	Chetoni ciclici	27
<b>1.6.4.3</b>	Chetoni aromatici	28
<b>1.6.5</b>	Aldeidi	28
<b>1.6.5.1</b>	Aldeidi alifatiche	28
<b>1.6.5.2</b>	Aldeidi aromatiche	29
<b>1.6.6</b>	Acidi carbossilici	29
<b>1.6.6.1</b>	Acidi alifatici	29
<b>1.6.6.2</b>	Acidi aromatici	30
<b>1.6.7</b>	Esteri di acidi carbossilici	30
<b>1.6.7.1</b>	Esteri alifatici	30
<b>1.6.7.2</b>	Esteri benzilici e fenilici	31
<b>1.6.7.3</b>	Esteri di acidi aromatici	32
<b>1.6.8</b>	Lattoni	32
<b>1.6.9</b>	Ammine	32
<b>1.6.9.1</b>	Ammine alifatiche	32
<b>1.6.9.2</b>	Ammine cicliche	33
<b>1.6.9.3</b>	Ammine aromatiche (aniline)	33
<b>1.6.10</b>	Ammidi	34
<b>1.6.10.1</b>	Ammidi alifatiche	34
<b>1.6.10.2</b>	Ammidi aromatiche	34
<b>1.6.11</b>	Nitrili alifatici	34
<b>1.6.12</b>	Nitro composti	34
<b>1.6.12.1</b>	Nitro composti alifatici	34
<b>1.6.12.2</b>	Nitro composti aromatici	34
<b>1.6.13</b>	Nitriti alifatici	35
<b>1.6.14</b>	Nitrati alifatici	35
<b>1.6.15</b>	Composti solforati	35
<b>1.6.15.1</b>	Mercaptani alifatici (tioli)	35
<b>1.6.15.2</b>	Solfuri alifatici	36
<b>1.6.15.3</b>	Disolfuri alifatici	36
<b>1.6.16</b>	Composti alogenati	36

1.6.16.1	Cloruri alifatici	37	2.6.5.2	Vibrazioni di stretching del C—H	88
1.6.16.2	Bromuri alifatici	38	2.6.5.3	Vibrazioni di bending del C—H	88
1.6.16.3	Ioduri alifatici	38	2.6.6	Idrocarburi aromatici mononucleari	88
1.6.16.4	Fluoruri alifatici	38	2.6.6.1	Vibrazioni di bending del C—H fuori dal piano	88
1.6.16.5	Alogenuri benzilici	38	2.6.7	Idrocarburi aromatici polinucleari	89
1.6.16.6	Alogenuri aromatici	38	2.6.8	Polimeri	89
1.6.17	Composti eteroaromatici	38	2.6.9	Alcoli e fenoli	91
	Riferimenti bibliografici	39	2.6.9.1	Vibrazioni di stretching dell'O—H	91
	Esercizi per gli studenti	39	2.6.9.2	Vibrazioni di stretching del C—O	92
	Appendici		2.6.9.3	Vibrazioni di bending dell'O—H	92
A	Masse formula (FM) per varie combinazioni di carbonio, idrogeno, azoto e ossigeno	48	2.6.10	Eteri, epossidi e perossidi	93
B	Frammenti ionici comuni	69	2.6.10.1	Vibrazioni di stretching del C—O	93
C	Comuni frammenti persi	71	2.6.11	Chetoni	95
			2.6.11.1	Vibrazioni di stretching del C=O	95
			2.6.11.2	Vibrazioni di stretching e di bending del C—(C=O)—C	97
			2.6.12	Aldeidi	97
			2.6.12.1	Vibrazioni di stretching del C=O	97
			2.6.12.2	Vibrazioni di stretching del C—H	97
			2.6.13	Acidi carbossilici	98
			2.6.13.1	Vibrazioni di stretching dell'O—H	98
			2.6.13.2	Vibrazioni di stretching del C=O	98
			2.6.13.3	Vibrazioni di stretching del C—O e di bending dell'O—H	99
			2.6.14	Anione carbossilato	99
			2.6.15	Esteri e lattoni	99
			2.6.15.1	Vibrazioni di stretching del C=O	99
			2.6.15.2	Vibrazioni di stretching del C—O	100
			2.6.16	Alogenuri degli acidi	101
			2.6.16.1	Vibrazioni di stretching del C=O	101
			2.6.17	Anidridi degli acidi carbossilici	101
			2.6.17.1	Vibrazioni di stretching del C=O	101
			2.6.17.2	Vibrazioni di stretching del C—O	101
			2.6.18	Ammidi e lattami	101
			2.6.18.1	Vibrazioni di stretching dell'N—H	102
			2.6.18.2	Vibrazioni di stretching del C=O (banda ammidica I)	102
			2.6.18.3	Vibrazioni di bending dell'N—H (banda ammidica II)	103
			2.6.18.4	Altre bande vibrazionali	103
			2.6.18.5	Vibrazioni di stretching del C=O dei lattami	103
			2.6.19	Ammine	103
			2.6.19.1	Vibrazioni di stretching dell'N—H	103
			2.6.19.2	Vibrazioni di bending dell'N—H	103
			2.6.19.3	Vibrazioni di stretching del C—N	104
			2.6.20	Sali di ammine	104
			2.6.20.1	Vibrazioni di stretching dell'N—H	104
			2.6.20.2	Vibrazioni di bending dell'N—H	104
			2.6.21	Amminoacidi e loro sali	104
			2.6.22	Nitrili	106

## CAPITOLO 2 **SPETTROSCOPIA NELL'INFRAROSSO**

2.1	Introduzione	73
2.2	Teoria	73
2.2.1	Interazioni accoppiate	76
2.2.2	Il legame a idrogeno	78
2.3	Strumentazione	78
2.3.1	Spettroscopia IR a dispersione	78
2.3.2	Spettrometro IR a trasformata di Fourier (interferometro)	79
2.4	Preparazione del campione	79
2.5	Interpretazione degli spettri	81
2.6	Assorbimenti caratteristici dei gruppi funzionali delle molecole organiche	82
2.6.1	Alcani lineari (paraffine)	82
2.6.1.1	Vibrazioni di stretching del C—H	84
2.6.1.2	Vibrazioni di bending del C—H	84
2.6.2	Alcani con catene ramificate	85
2.6.2.1	Vibrazioni di stretching del C—H: gruppi C—H terziari	85
2.6.2.2	Vibrazioni di bending del C—H: gruppi dimetilici geminali	85
2.6.3	Alcani ciclici	85
2.6.3.1	Vibrazioni di stretching del C—H	85
2.6.3.2	Vibrazioni di bending del C—H	86
2.6.4	Alcheni	86
2.6.4.1	Vibrazioni di stretching del C=C	86
2.6.4.2	Vibrazioni di stretching del C—H dell'alchene	87
2.6.4.3	Vibrazioni di bending del C—H dell'alchene	87
2.6.5	Alchini	87
2.6.5.1	Vibrazioni di stretching del C≡C	87

<b>2.6.23</b>	Isonitrili ( $R-\overset{+}{N}\equiv\overset{-}{C}$ ), cianati ( $R-O-C\equiv N$ ), isocianati ( $R-N=C=O$ ), tiocianati ( $R-S-C\equiv N$ ), isotiocianati ( $R-N=C=S$ )	106	<b>3.3</b>	Strumentazione e preparazione del campione	133
<b>2.6.24</b>	Composti contenenti il gruppo $-N=N$	106	<b>3.3.1</b>	Strumentazione	133
<b>2.6.25</b>	Composti covalenti contenenti legami azoto-ossigeno	106	<b>3.3.2</b>	Sensibilità degli esperimenti NMR	135
<b>2.6.25.1</b>	Vibrazioni di stretching del sistema $N\equiv O$	106	<b>3.3.3</b>	Scelta del solvente e preparazione del campione	135
<b>2.6.26</b>	Composti organici solforati	107	<b>3.4</b>	Spostamento chimico	136
<b>2.6.26.1</b>	Vibrazioni di stretching dell' $S-H$ : mercaptani	107	<b>3.5</b>	Accoppiamento spin-spin, multipletti, sistemi di spin	142
<b>2.6.26.2</b>	Vibrazioni di stretching dei $C-S$ e $C=S$	107	<b>3.5.1</b>	Multipletti semplici e complessi del primo ordine	142
<b>2.6.27</b>	Composti contenenti legami zolfo-ossigeno	108	<b>3.5.2</b>	Sistemi di spin del primo ordine	145
<b>2.6.27.1</b>	Vibrazioni di stretching dell' $S=O$	108	<b>3.5.3</b>	La notazione di Pople	146
<b>2.6.28</b>	Composti organici alogenati	109	<b>3.5.4</b>	Ulteriori esempi di sistemi di spin semplici del primo ordine	146
<b>2.6.29</b>	Composti sililati	110	<b>3.5.5</b>	Analisi di multipletti del primo ordine	147
<b>2.6.29.1</b>	Vibrazioni di $Si-H$	110	<b>3.6</b>	Protoni su atomi di ossigeno, azoto e zolfo. Protoni scambiabili	149
<b>2.6.29.2</b>	Vibrazioni di $SiO-H$ e $Si-O$	110	<b>3.6.1</b>	Protoni su atomo di ossigeno	149
<b>2.6.29.3</b>	Vibrazioni di stretching silicio-alogeno	110	<b>3.6.1.1</b>	Alcoli	149
<b>2.6.30</b>	Composti fosforati	110	<b>3.6.1.2</b>	Acqua	152
<b>2.6.30.1</b>	Vibrazioni di stretching di $P-H$ , $P-C$ , $P-O$ , $P=O$	110	<b>3.6.1.3</b>	Fenoli	152
<b>2.6.31</b>	Composti eteroaromatici	111	<b>3.6.1.4</b>	Enoli	152
<b>2.6.31.1</b>	Vibrazioni di stretching del $C-H$	111	<b>3.6.1.5</b>	Acidi carbossilici	152
<b>2.6.31.2</b>	Frequenze di stretching dell' $N-H$	111	<b>3.6.2</b>	Protoni su azoto	152
<b>2.6.31.3</b>	Vibrazioni di stretching dell'anello (bande dello scheletro)	111	<b>3.6.3</b>	Protoni su zolfo	154
<b>2.6.31.4</b>	Bending fuori dal piano del $C-H$	112	<b>3.6.4</b>	Protoni su nuclei di cloro, bromo, iodio o adiacenti	154
Riferimenti bibliografici		112	<b>3.7</b>	Accoppiamento di protoni con altri nuclei importanti ( $^{19}F$ , $D$ ( $^2H$ ), $^{31}P$ , $^{29}Si$ e $^{13}C$ )	154
Esercizi per gli studenti		112	<b>3.7.1</b>	Accoppiamento di protoni con $^{19}F$	154
Appendici			<b>3.7.2</b>	Accoppiamento di protoni con $D$ ( $^2H$ )	154
<b>A</b>	Regioni trasparenti di solventi e oli per sospensioni	122	<b>3.7.3</b>	Accoppiamento di protoni con $^{31}P$	155
<b>B</b>	Assorbimenti caratteristici per gruppi funzionali	123	<b>3.7.4</b>	Accoppiamento di protoni con $^{29}Si$	155
<b>C</b>	Assorbimenti degli alcheni	128	<b>3.7.5</b>	Accoppiamento di protoni con $^{13}C$	155
<b>D</b>	Assorbimenti di composti fosforati	129	<b>3.8</b>	Equivalenza chimica	156
<b>E</b>	Assorbimenti di composti eteroaromatici	129	<b>3.8.1</b>	Determinazione dell'equivalenza chimica per interscambio attraverso operazioni di simmetria	156
<b>CAPITOLO 3</b>	<b>SPETTROSCOPIA DI RISONANZA MAGNETICA PROTONICA (<math>^1H</math>)</b>		<b>3.8.2</b>	Determinazione dell'equivalenza chimica mediante marcatura (o sostituzione)	156
<b>3.1</b>	Introduzione	130	<b>3.8.3</b>	Equivalenza chimica per rapida interconversione strutturale	157
<b>3.2</b>	Teoria	130	<b>3.8.3.1</b>	Interconversione cheto-enolica	157
<b>3.2.1</b>	Proprietà magnetiche dei nuclei	130	<b>3.8.3.2</b>	Interconversione intorno a un doppio legame parziale (rotazione limitata)	158
<b>3.2.2</b>	Eccitazione di nuclei con spin $\frac{1}{2}$	131	<b>3.8.3.3</b>	Interconversione intorno a legami singoli di anelli	158
<b>3.2.3</b>	Rilassamento	133	<b>3.8.3.4</b>	Interconversione intorno a legami singoli in sistemi aciclici	158

<b>3.9</b> Equivalenza magnetica	159	<b>CAPITOLO 4</b> <b>SPETTROSCOPIA NMR DEL CARBONIO 13</b>	
<b>3.10</b> Sistemi rigidi AMX, ABX e ABC con tre costanti di accoppiamento	161	<b>4.1</b> Introduzione	197
<b>3.11</b> Sistemi debolmente e fortemente accoppiati: accoppiamento virtuale	162	<b>4.2</b> Teoria	197
<b>3.11.1</b> Sistemi debolmente accoppiati	162	<b>4.2.1</b> Tecniche di disaccoppiamento da $^1\text{H}$	197
<b>3.11.1.1</b> 1-Nitropropano	162	<b>4.2.2</b> Scala e intervallo degli spostamenti chimici	198
<b>3.11.2</b> Sistemi fortemente accoppiati	162	<b>4.2.3</b> Rilassamento $T_1$	199
<b>3.11.2.1</b> 1-Esanolo	162	<b>4.2.4</b> Effetto nucleare Overhauser ( <i>Nuclear Overhauser Effect</i> , NOE)	201
<b>3.11.2.2</b> Acido 3-metilglutarico	164	<b>4.2.5</b> Accoppiamento di Spin $^{13}\text{C}-^1\text{H}$ ( $J$ )	202
<b>3.12</b> Chiralità	165	<b>4.2.6</b> Sensibilità	202
<b>3.13</b> Grandezza delle costanti di accoppiamento vicinale e geminale	166	<b>4.2.7</b> Solventi	204
<b>3.14</b> Accoppiamento a lunga distanza (long-range)	168	<b>4.3</b> Interpretazione di un semplice spettro $^{13}\text{C}$ NMR: lo ftalato dietilico	204
<b>3.15</b> Disaccoppiamento di spin selettivo: doppia risonanza	168	<b>4.4</b> Analisi $^{13}\text{C}$ quantitativa	205
<b>3.16</b> Effetto nucleare Overhauser ( <i>Nuclear Overhauser Effect</i> , NOE)	168	<b>4.5</b> Equivalenza chimica	207
<b>3.17</b> Conclusioni	169	<b>4.6</b> DEPT	209
Riferimenti bibliografici	170	<b>4.7</b> Classi chimiche e spostamenti chimici	210
Esercizi per gli studenti	170	<b>4.7.1</b> Alcani	211
Appendici		<b>4.7.1.1</b> Alcani lineari e ramificati	211
<b>A</b> Tavola A.1 Spostamenti chimici di protoni su un atomo di carbonio adiacente (posizione $\alpha$ ) a un gruppo funzionale in composti alifatici (M—Y)	181	<b>4.7.1.2</b> Effetto dei sostituenti sugli alcani	212
Tavola A.2 Spostamenti chimici di protoni su un atomo di carbonio in posizione $\beta$ rispetto a un gruppo funzionale in composti alifatici (M—C—Y)	183	<b>4.7.1.3</b> Cicloalcani ed eterocicli saturi	213
<b>B</b> Effetto sullo spostamento chimico da parte di due o tre gruppi funzionali direttamente legati	184	<b>4.7.2</b> Alcheni	213
<b>C</b> Spostamenti chimici in anelli aliciclici ed eterociclici	186	<b>4.7.3</b> Alchini	215
<b>D</b> Spostamenti chimici in sistemi insaturi e aromatici	187	<b>4.7.4</b> Composti aromatici	215
<b>E</b> Protoni soggetti agli effetti del legame a idrogeno (protoni su eteroatomi)	190	<b>4.7.5</b> Composti eteroaromatici	216
<b>F</b> Costanti di accoppiamento spin-spin del protone	191	<b>4.7.6</b> Alcoli	217
<b>G</b> Spostamenti chimici e molteplicità di protoni residui in solventi deuterati commercialmente disponibili	193	<b>4.7.7</b> Eteri, acetali ed epossidi	218
<b>H</b> Spostamenti chimici di solventi di laboratorio comuni presenti come impurezze	194	<b>4.7.8</b> Alogenuri	218
<b>I</b> Spostamenti chimici NMR protonici di amminoacidi in $\text{D}_2\text{O}$	196	<b>4.7.9</b> Ammine	219
		<b>4.7.10</b> Tioli, solfuri e disolfuri	219
		<b>4.7.11</b> Gruppi funzionali contenenti carbonio	219
		<b>4.7.11.1</b> Chetoni e aldeidi	220
		<b>4.7.11.2</b> Acidi carbossilici, esteri, cloruri, anidridi, ammidi e nitrili	220
		<b>4.7.11.3</b> Ossime	220
		Riferimenti bibliografici	221
		Esercizi per gli studenti	221
		Appendici	
		<b>A</b> Spostamenti chimici $^{13}\text{C}$ , costanti di accoppiamento e molteplicità dei comuni solventi NMR deuterati	233

<b>B</b>	Spostamenti chimici $^{13}\text{C}$ di comuni solventi di laboratorio presenti come impurezze in tracce in alcuni solventi NMR deuterati	234
<b>C</b>	Tavola degli intervalli di spostamento chimico $^{13}\text{C}$ per classi chimiche	235
<b>D</b>	Spostamenti chimici $^{13}\text{C}$ NMR (ppm) per alcuni composti naturali	237

## CAPITOLO 5 **SPETTROSCOPIA NMR BIDIMENSIONALE (2D)**

<b>5.1</b>	Introduzione	238
<b>5.2</b>	Teoria	239
<b>5.3</b>	Spettroscopia di correlazione	242
<b>5.3.1</b>	Correlazione $^1\text{H}-^1\text{H}$ : COSY	243
<b>5.4</b>	Ipsenolo: $^1\text{H}-^1\text{H}$ COSY	244
<b>5.4.1</b>	Ipsenolo: $^1\text{H}-^1\text{H}$ COSY con filtro a doppio-quanto (Double-Quantum Filtered $^1\text{H}-^1\text{H}$ COSY)	244
<b>5.4.2</b>	$^{13}\text{C}-^1\text{H}$ COSY rivelato sul canale del carbonio: HETCOR	247
<b>5.4.3</b>	$^1\text{H}-^{13}\text{C}$ COSY rivelato sul canale del protone: HMQC	248
<b>5.4.4</b>	Ipsenolo: HETCOR e HMQC	248
<b>5.4.5</b>	Ipsenolo: correlazione $^1\text{H}-^{13}\text{C}$ eteronucleare a lunga distanza con rivelazione sul canale del protone (HMBC)	250
<b>5.5</b>	Cariofillene ossido	252
<b>5.5.1</b>	Cariofillene ossido: DQF-COSY	252
<b>5.5.2</b>	Cariofillene ossido: HMQC	252
<b>5.5.3</b>	Cariofillene ossido: HMBC	256
<b>5.6</b>	Correlazioni $^{13}\text{C}-^{13}\text{C}$ : INADEQUATE	258
<b>5.6.1</b>	Cariofillene ossido: INADEQUATE	259
<b>5.7</b>	Lattosio	260
<b>5.7.1</b>	Lattosio: DQF-COSY	262
<b>5.7.2</b>	Lattosio: HMQC	262
<b>5.7.3</b>	Lattosio: HMBC	262
<b>5.8</b>	Trasferimento propagato di coerenza (relayed coherence transfer): TOCSY	262
<b>5.8.1</b>	Lattosio: 2D TOCSY	264
<b>5.8.2</b>	Lattosio: 1D TOCSY	264
<b>5.9</b>	HMQC-TOCSY	267
<b>5.9.1</b>	Lattosio: HMQC-TOCSY	267
<b>5.10</b>	ROESY	267
<b>5.10.1</b>	Lattosio: ROESY	269
<b>5.11</b>	Tetrapeptide VGSE	269
<b>5.11.1</b>	Tetrapeptide VGSE: COSY	273
<b>5.11.2</b>	Tetrapeptide VGSE: TOCSY	273
<b>5.11.3</b>	Tetrapeptide VGSE: HMQC	273

<b>5.11.4</b>	Tetrapeptide VGSE: HMBC	275
<b>5.11.5</b>	Tetrapeptide VGSE: ROESY	277
<b>5.12</b>	NMR a gradiente di campo pulsato	277
	Riferimenti bibliografici	278
	Esercizi per gli studenti	278

## CAPITOLO 6 **SPETTROSCOPIA DI RISONANZA MAGNETICA MULTINUCLEARE**

<b>6.1</b>	Introduzione considerazioni generali	309
<b>6.2</b>	Risonanza magnetica nucleare di $^{15}\text{N}$	310
<b>6.3</b>	Risonanza magnetica nucleare di $^{19}\text{F}$	317
<b>6.4</b>	Risonanza magnetica nucleare di $^{29}\text{Si}$	320
<b>6.5</b>	Risonanza magnetica nucleare di $^{31}\text{P}$	323
<b>6.6</b>	Conclusioni	326
	Riferimenti bibliografici	326
	Esercizi per gli studenti	326
	Appendici	
<b>A</b>	Proprietà di nuclei magneticamente attivi	331

## CAPITOLO 7 **PROBLEMI RISOLTI**

<b>7.1</b>	Introduzione	334
	Problema 7.1: spettri, 336; Problema 7.1: discussione, 338; Problema 7.2: spettri, 339; Problema 7.2: discussione, 342; Problema 7.3: spettri, 344; Problema 7.3: discussione, 347; Problema 7.4: spettri, 349; Problema 7.4: discussione, 354; Problema 7.5: spettri, 357; Problema 7.5: discussione, 361; Problema 7.6: spettri, 362; Problema 7.6: discussione, 367; Esercizi per gli studenti: problemi 7.7 e 7.8, 368	

## CAPITOLO 8 **PROBLEMI DA RISOLVERE**

<b>8.1</b>	Introduzione	375
	Problema 8.1, 376; Problema 8.2, 377; Problema 8.3, 378; Problema 8.4, 379; Problema 8.5, 380; Problema 8.6, 381; Problema 8.7, 382; Problema 8.8, 383; Problema 8.9, 384; Problema 8.10, 385; Problema 8.11, 386; Problema 8.12, 387; Problema 8.13, 388; Problema 8.14, 389; Problema 8.15, 390; Problema 8.16, 391; Problema 8.17, 392; Problema 8.18, 393; Problema 8.19, 394; Problema 8.20, 396; Problema 8.21, 398; Problema 8.22, 400; Problema 8.23, 402; Problema 8.24, 404; Problema 8.25, 406; Problema 8.26, 408; Problema 8.27, 410; Problema 8.28, 412; Problema 8.29, 414; Problema 8.30, 417; Problema 8.31, 420; Problema 8.32, 422; Problema 8.33, 425; Problema 8.34, 428; Problema 8.35, 431; Problema 8.36, 434; Problema 8.37, 437; Problema 8.38, 441; Problema 8.39, 446; Problema 8.40, 449; Problema 8.41, 452; Problema 8.42, 455; Problema 8.43, 459	