

Chimica analitica strumentale

Un'introduzione

James W. Robinson, Eileen M. Skelly Frame, George M. Frame II

PICCIN

Titolo originale

Instrumental Analytical Chemistry, An Introduction, 1st Edition

by James W. Robinson, Eileen M. Skelly Frame and George M. Frame II

© 2021 Taylor & Francis Group, LLC

All rights reserved. Authorised translation from the English language edition published by CRC Press, a member of the Taylor & Francis Group LLC.

Opera coperta dal diritto d'autore - Tutti i diritti sono riservati

Questo testo contiene materiale, testi ed immagini, coperto da copyright e non può essere copiato, riprodotto, distribuito, trasferito, noleggiato, licenziato o trasmesso in pubblico, venduto, prestato a terzi, in tutto o in parte, o utilizzato in alcun altro modo o altrimenti diffuso, se non previa espressa autorizzazione dell'editore. Qualsiasi distribuzione o fruizione non autorizzata del presente testo, così come l'alterazione delle informazioni elettroniche, costituisce una violazione dei diritti dell'editore e dell'autore e sarà sanzionata civilmente e penalmente secondo quanto previsto dalla L. 633/1941 e ss.mm.

AVVERTENZA

Molte delle sostanze e delle reazioni chimiche descritte o rappresentate in questo libro sono pericolose. Non tentate alcun esperimento illustrato nel testo, a meno che non vi troviate in un laboratorio adeguato e sotto supervisione di un esperto.

Poiché le scienze sono in continua evoluzione, l'Editore non si assume alcuna responsabilità per qualsiasi lesione e/o danno dovesse venire arrecato a persone o beni per negligenza o altro, oppure uso od operazioni di qualsiasi metodo, prodotto, istruzione o idea contenuto in questo libro. L'Editore raccomanda soprattutto la verifica autonoma della diagnosi e del dosaggio dei medicinali, attenendosi alle istruzioni per l'uso e controindicazioni contenute nel foglietto illustrativo.

Permission for the publication herein of Sadtler Spectra has been granted by Bio-Rad Laboratories, Informatics Division. All Sadtler Spectra are Copyright Bio-Rad Laboratories, Informatics Division, Sadtler Software and Databases 2014. All rights reserved. J.T.Baker® and ULTREX® are trademarks of Avantor Performance Materials, Inc.

ISBN 978-88-299-3226-9

© 2023 Piccin Nuova Libreria S.p.A., Padova

www.piccin.it

Prefazione

La chimica analitica oggi è quasi interamente chimica analitica strumentale ed è fatta da molti scienziati e ingegneri che non sono chimici. La strumentazione analitica è essenziale per la ricerca nei settori della biologia molecolare, medicina, geologia, scienza dell'alimentazione, scienza dei materiali e in molti altri campi. Anche se è vero che non è più necessario avere grandi abilità quasi "artistiche" per ottenere dei risultati analitici accurati e precisi quando si usa la strumentazione, gli strumenti non dovrebbero essere considerati alla stregua di "scatole nere" da chi li usa. La nota frase "se ci metti immondizia, otterrai solo immondizia" è vera sia per la strumentazione analitica che per i computer. Speriamo che questo libro sia utile a chi usa la strumentazione analitica per capire gli strumenti che usa.

Il testo è una versione più concisa e aggiornata del nostro *Undergraduate Instrumental Analysis*, ideato per insegnare agli studenti universitari e a chi già lavora in settori della chimica diversi dalla chimica analitica come funziona la strumentazione analitica moderna e quali sono i suoi usi e le sue limitazioni.

Abbiamo ridotto al minimo la parte di matematica. Non è necessario avere un background in calcolo infinitesimale, fisica o chimica fisica. Trattiamo i principali settori della strumentazione moderna, comprese le applicazioni di ogni tipo di tecniche strumentali. Tutti i capitoli contengono una discussione dei principi fondamentali alla base di ogni tecnica, descrizioni dettagliate della strumentazione e un gran numero di applicazioni. Tutti i capitoli hanno anche una bibliografia aggiornata e dei problemi e, nella maggior parte dei capitoli, si suggeriscono degli esperimenti appropriati per la tecnica in questione.

Gli Autori sono molto grati ai numerosi esperti elencati nei Ringraziamenti, i quali hanno fornito grafici, suggerimenti tecnici, riformulazioni e revisioni di varie sezioni. Eventuali errori presenti sono esclusiva responsabilità degli Autori.

James W. Robinson
Eileen M. Skelly Frame
George M. Frame II

Autori



James W. Robinson, BS (Hons), PhD, DSc, si è laureato e ha conseguito il suo dottorato all'Università di Birmingham, Inghilterra. È stato nominato Professore Emerito di Chimica alla Louisiana State University, Baton Rouge, Louisiana. È stato membro della Royal Society of Chemistry, autore di 250 articoli, capitoli di

libri e libri tra cui: *Atomic Absorption Spectroscopy* e *Atomic Spectroscopy*, prima e seconda edizione. È stato Editor-in-Chief di *Spectroscopy Letters* e del *Journal of Environmental Science and Health* (editi entrambi da Marcel Dekker, Inc.); Executive Editor di *Handbook of Spectroscopy Vol. I* (1974), *Vol. 2* (1974), *Vol. 3* (1981) e di *Practical Handbook of Spectroscopy* (1991) (editi tutti da CRC Press). Ha partecipato al National University Accreditation Committee dal 1970-1971. È stato Visiting Distinguished Professor nella University of Colorado nel 1972 e nella University of Sidney, Australia nel 1971. È stato Gordon Conference Chairman in Analytical Chemistry nel 1974. È deceduto nel novembre del 2018, a 95 anni.

Eileen M. Skelly Frame ha lavorato come Adjunct Professor nel Dipartimento di Chimica e Biologia Chimica al Rensselaer Polytechnic Institute (RPI) di Troy, NY ed è stata Head of Full Spectrum Analytical Consultants. È stata la prima donna a far parte del programma ROTC dell'Esercito americano (il corpo di addestramento per gli ufficiali di riserva, Reserve Officers' Training Corps) della Drexel University. Si è laureata in Chimica *summa cum laude* alla Drexel University. Dal 1975 al 1986 è stata ufficiale medico

nell'Esercito americano, ottenendo il grado di Capitano. Nei primi 3 anni della sua carriera nell'Esercito, ha lavorato presso il 10th Medical Laboratory dell'U.S. Army Hospital di Landstuhl, in Germania. Successivamente, è stata selezionata per partecipare ad un programma di tre anni per la qualifica di PhD in Chimica alla Louisiana State University. Ha conseguito il dottorato nel 1982 ed è diventata la prima donna a conseguire la carica di Professore di Chimica nell'Accademia Militare di West Point. Dopo gli anni nell'Esercito, ha lavorato nella General Electric Corporation (ora GE Global Research) ed è stata supervisore del Laboratorio di spettroscopia elettronica. Oltre al suo ruolo nell'RPI, è stata anche Clinical and Adjunct Professor of Chemistry nell'Union College di Schenectady, NY. Era nota per la sua abilità nell'uso dell'analisi strumentale per caratterizzare un'ampia gamma di sostanze, dai campioni biologici e i cosmetici ai superconduttori ad alta temperatura, i polimeri, i metalli e le leghe. È stata un membro attivo dell'American Chemical Society per 45 anni e socio di diversi ASTM Committees. È deceduta nel gennaio del 2020, poco dopo aver terminato questo libro.

George M. Frame II è stato direttore scientifico (ora in pensione) della sezione di Chemical Biomonitoring del Wadsworth Laboratory al New York State Department of Health, Albany. Ha molta esperienza di chimica analitica e ha lavorato nel GE Corporate R&D Center (ora GE Global Research), Pfizer Central Research, U.S. Coast Guard R&D Center, Maine Medical Center e U.S. Air Force Biomedical Sciences Corps. È socio dell'American Chemical Society. Ha conseguito il suo AB in Chimica all'Università di Harvard, Cambridge, Massachusetts, e il PhD in Chimica Analitica alla Rutgers University, New Brunswick, New Jersey.

Traduttori

Claudio Baggiani

Professore Ordinario di Chimica Analitica
Dipartimento di Chimica
Università degli Studi di Torino
Capitolo 10

Silvia Bruni

Professore Associato di Chimica Analitica
Dipartimento di Chimica
Università degli Studi di Milano La Statale
Capitolo 4

Lucia Calucci

Ricercatore del Consiglio Nazionale delle Ricerche
Istituto di Chimica dei Composti Organometallici,
Sede di Pisa
Capitolo 5

Concetta De Stefano

Professore Ordinario di Chimica Analitica
Dipartimento di Scienze Chimiche, Biologiche,
Farmaceutiche ed Ambientali
Università degli Studi di Messina
Capitolo 13

Paola Fermo

Professore Ordinario di Chimica Analitica
Dipartimento di Chimica
Università degli Studi di Milano La Statale
Capitoli 7 e 8

Alessandra Gentili

Professore Ordinario di Chimica Analitica
Dipartimento di Chimica
Sapienza Università di Roma
Capitolo 14

Fabio Gosetti

Professore Associato di Chimica Analitica
Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e della Terra
Università degli Studi di Milano-Bicocca
Capitoli 1 e 11

Mauro Iuliano

Professore Ordinario di Chimica Analitica
Dipartimento di Scienze Chimiche
Università degli Studi di Napoli "Federico II"
Capitolo 6

Gabriele Lando

Professore Associato di Chimica Analitica
Dipartimento di Scienze Chimiche, Biologiche,
Farmaceutiche ed Ambientali
Università degli Studi di Messina
Capitolo 13

Marco Mattonai

Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale
Università di Pisa
Capitolo 9

Claudio Minero

Professore Ordinario di Chimica Analitica
Dipartimento di Chimica
Università degli Studi di Torino
Capitolo 12

Francesca Modugno

Professore Ordinario di Chimica Analitica
Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale
Università di Pisa
Capitolo 9

Francesca Nardelli

Consiglio Nazionale delle Ricerche
Istituto di Chimica dei Composti Organometallici,
Sede di Pisa
Capitolo 5

Simona Scarano

Professore Associato di Chimica Analitica
Dipartimento di Chimica "Ugo Schiff"
Università degli Studi di Firenze
Capitoli 2 e 3

Veronica Termopoli

Ricercatore in Chimica Analitica
Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e della Terra
Università degli Studi di Milano-Bicocca
Capitoli 1 e 11

Ringraziamenti

Desideriamo ringraziare molto le seguenti persone per averci assistito e aver fornito un valido contributo a questo testo o all'altro nostro testo *Undergraduate Instrumental Analysis*, settima edizione. Hanno fornito diagrammi, fotografie, note applicative, spettri, cromatogrammi e molti commenti utili, revisioni e suggerimenti.

Li ringraziamo tutti, e li riportiamo di seguito senza un ordine particolare:

- **Active Spectrum, Inc.**, Dr. James R. White, Christopher J. White, and Colin T. Elliott
- **Agilent Technologies**, Gwen Boone, Doug Shrader, Ed McCurdy, Pat Grant, Laima Baltusis, Dan Steele, Jim Simon, Paul Canavan, Amy Herlihy, Eric Endicott, Valerie Lopez, William Champion, and Matt Nikow, Doug Shrader, and Ed McCurdy
- **Albany Advanced Imaging**, Herk Alberry, Mike Farrell, and Danny Dirico
- **Alfred-Wegner-Institute for Polar and Marine Research**, Bremerhaven, Germany, Dr. Christian Bock
- **Allen Design**, Mary Allen
- **Anasazi Instruments, Inc.**, Donald Bouchard
- **Applied Photonics Ltd.**, Dr. Andrew Whitehouse
- **Applied Rigaku Technologies, Inc.**, Robert Bartek
- **Applied Separations, Inc.**, Rolf Schlake
- **ASTM International**, Jamie Huffnagle, Len Morrissey, and Brent Cleveland
- **AstraNet Systems Ltd.**, Ray Wood
- **Avantor Performance Materials, Inc.**, Paul Smaltz and Anne Logan
- **BaySpec, Inc.**, Steve Pullins and Eric Bergles
- **Bio-Rad Informatics Division**, Marie Scandone, Wes Rawlins, Cindy Addenbrook, Sean Battles, Dean Llanas, Chris Wozniak, and Chris Lein
- **Bruker AXS**, Dr. Alexander Seyfarth
- **Bruker BioSpin**, Pat Wilkinson, James Beier and Dr. Ralph Weber
- **Bruker Corporation**, Dr. Thorsten Thiel, Kodi Morton, Catherine Fisk, Andrew Hess, Armin Gross, Sarah Nelson, and Jerry Sooter
- **Bruker Optics, Inc.**, Dr. Z. Harry Xie and Amy Herlihy
- **B BÜCHI Labortechnik AG**, Birke Götz
- **Buchi Corporation**, William Ickes
- **BURLE Electro-Optics, Inc.**, Dr. Ronald Starcher
- **C Technologies**, Eric Shih and Mark Salerno
- **CambridgeSoft Corporation**, Irwin Schreiman
- **Carpenter Technologies**, Dr. Tom Dulski
- **CEM Corporation**, Dr. Mike Collins
- **Centers for Disease Control**, Atlanta, Georgia, Dr. Robert Kobelski
- **CERNO, Inc.**, Yongdong Wang and Ming Gu
- **CETAC Technologies**, Todd Maxwell
- **Chemring, Inc.**, Jeff Okamitsu
- **Enwave Optronics, Inc.**, Dawn Nguyen
- **Excellims**, Carol Morloff
- **Gamry Instruments, Inc.**, Dr. Chris Beasley and Burak Uglut
- **GE Healthcare Life Sciences**, Mary Jo Wojtusik and Michele Giordiano
- **Glass Expansion, Inc.**, Ryan Brennan
- **Hellma USA, Inc.**, Evan Friedmann
- **Hitachi High Technologies America**, Mike Hurt and Luis Moreno
- **HORIBA Scientific**, Dr. A. Horiba, Atsuro Okada, Juichiro Ukon, Mike Pohl, Philippe Hunault, Patrick Chapon, Phil Shymanski, Diane Surine, Joanne Lowy, Andrew Whiteley, Christophe Morin, and David Tuschel
- **Teledyne Leeman Labs, Inc.**, Peter Brown, Dave Pfeil, and Dr. Manuel Almeida
- **Implen, Inc.**, Heather Graef
- **International Crystal Manufacturing, Inc.**, Mark Handley
- **IonSense, Inc.**, Mike Festa
- **JEOL, Inc.**, Michael Fry, Dr. Chip Cody, Pam Mansfield, Masaaki Ubukata, and Patricia Corkum
- **LECO Corporation**, Pat Palumbo, Bill Strzynski, Lorne M. Fell, and Veronica Jackson
- **NIST**, Dr. Cedric Powell
- **Lehigh University**, Dr. James Roberts
- **LSU**, Professor Emeritus Robert Gale
- **Mettler Toledo, Inc.**, Steve Sauerbrunn
- **Microspectral Analysis, LLC**, Monique Claverie, Dr. Joseph E. Johnson, and Dr. David Wooton
- **Milestone, Inc.**, Merrill Loechner
- **NETZSCH Instruments North America, LLC**, Dr. Gilles Widawski and Fumi Akimaru
- **NETZSCH-Gerätebau GmbH**, Dr. Thomas Rampke and Stephan Knappe
- **Newport Corporation**, Nancy Fernandes
- **NIST Mass Spec Data Center**, Dr. S.E. Stein and Anzor I. Mikaia
- **NITON Corp.**, Volker Thomsen

- **Norton Scientific, Inc.**, Bryan C. Webb
- **Olympus NDT**, Eoin Vincent, Samuel Machado, and John Nikitas
- **Pacific University**, Professor Ronald Bailey, Dr. O. David Sparkman
- **Palisade**, Stanton Loh
- **PANalytical, Inc.**, David Coler
- **PerkinElmer, Inc.**, Andy Rodman, Giulia Orsanigo, Christopher Tessier, Sarah Salbu, and Danielle Hawthorne
- **Pfizer Central Research and Development**, Dr. Alex Medek
- **Phenomenex, Inc.**, Michael Garriques and Karen Anspach
- **Photonis**, Margaret M. Cooley
- **Physical Electronics USA, Inc.**, Dr. John E. Moulder
- **picoSpin, LLC**, John Price, Dean Antic, and Chuck Miller
- **PIKE Technologies**, Jenni L. Briggs and Z. Stanek
- **Process NMR Associates, LLC**, Dr. John C. Edwards
- **Prosolia**, Joseph H. Kennedy
- **Rensselaer Polytechnic Institute**, Dr. Christin Choma, Professor Ronald Bailey and Professor Peter Griffiths
- **Restek**, Dr. Frank Dorman, Dr. Jack Cochran and Pam Decker
- **Rigaku Corporation**, Michael Nelson
- **Rigaku Raman Technologies, Inc.**, Alicia Kimsey and Claire Dentinger
- **Scripps Research Institute Center for Mass Spectrometry**, Professor Gary Siudzak
- **SGE**, A. Audino and Kerry Scoggins
- **Shimadzu Scientific Instruments, Inc.**, Keith Long, Mark Talbott, Mark Taylor, and Kevin McLaughlin
- **Sigma-Aldrich**, Wes Rawlins, Cindy Addenbrook, Sean Battles, Dean Llanas, Chris Wozniak, and Chris Lein
- **SPECTRO Analytical Instruments**, Alan Merrick
- **SPEX CertiPrep, Inc.**, Ralph Obenauf
- **Starna Scientific, Inc.**, John Hammond, Rosemary Huett, and Keith Hulme
- **State University of New York College of Environmental Science and Forestry**, Professor F. X. Webster
- **Supelco**, Jill Thomas and Michael Monko
- **Supercritical Fluid Technologies, Inc.**, Kenneth Krewson
- **AMETEK**, Jim McKinley, Dale Edcke and Bob Anderhalt
- **TA Instruments** team with special thanks to Roger Blaine, Fred Wiebke, Charles Potter and Terry Allen
- **Thermo Fisher Scientific**, Mark Mabry, Bob Coel, Ed Oliver, Lara Pryde, Jim Ferrara, John Flavell, Chuck Douthitt, Keith Bisogno, Mary Megan-Litteer, Jackie Lathos-Markham, Todd Strother, Joseph Dorsheimer, Marty Palkovic, Dr. Julian Phillips, Wendy Weise, Carl Millholland, Michael Bradley, Janine O'Rourke, Eric Francis, Art Fitchett, Dr. Stephan Lowry, Timothy O. Deschaines, Fergus Keenan, Simon Nunn, Ryan Kershner, Elizabeth Guiney, Russell Diemer, Michael W. Allen, Bill Sgammato, Dr. John Wolstenholme, Dr. Joachim Hinrichs, Carolyn Carter, Kathy Callaghan, Allen Pierce, Arthur Fitchitt, Fraser McLeod, Frank Hoefler, and Todd Strother
- **Toshiba America Medical Systems**, Vielen Dank and Julie Powers
- **TSI, Inc.**, Steve Buckley and Edwin Pickins
- **University of Cincinnati**, the late Professor Milton
- **University of Idaho**, Professor Peter Griffiths
- **University of Massachusetts, Amherst**. Dr. Elizabeth Williams and Professor Julian Tyson
- **University of Melbourne**, Australia, Professor Stephen P. Best
- **University of Wisconsin**, NMRFAM, Madison (nmrfam.wisc.edu), Dr. Anne Lynn Gillian-Daniel
- **US Army Research Laboratory**, Dr. Andrzej Miziolekand and Dr. Andrew Whitehouse
- **Vanderbilt University**, Professor David Hercules
- **Waters Corp.**, Brian J. Murphy and Dave DePasquale
- **WITec GmbH**, Harald Fischer
- **ZAHNER-Elektrik GbmH & Co.KG**, Dr. Hans Joachim Schaefer and C.-A. Schiller

Indice generale

Capitolo 1	Concetti di chimica analitica strumentale	1
1.1	Introduzione: che cos'è la chimica analitica strumentale	1
1.2	Approcci analitici.....	2
1.2.1	Definizione del problema.....	3
1.2.1.1	Analisi qualitativa.....	4
1.2.1.2	Analisi quantitativa.....	6
1.2.2	Definizione del metodo analitico	9
1.2.3	Campionamento.....	10
1.2.3.1	Campioni gassosi.....	13
1.2.3.2	Campioni liquidi.....	13
1.2.3.3	Campioni solidi.....	14
1.2.4	Conservazione dei campioni.....	14
1.3	Preparazione del campione	15
1.3.1	Dissoluzione acida e digestione	16
1.3.2	Fusioni.....	19
1.3.3	Incenerimento a secco e combustione.....	20
1.3.4	Estrazione.....	21
1.3.4.1	Estrazione con solvente.....	21
1.3.4.2	Estrazione in fase solida (SPE)	25
1.3.4.3	QuEChERS	26
1.3.4.4	Microestrazione in fase solida (SPME).....	27
1.4	Statistica di base e gestione dei dati.....	29
1.4.1	Accuratezza e precisione.....	29
1.4.2	Tipi di errori.....	31
1.4.2.1	Errori determinati.....	31
1.4.2.2	Errori indeterminati	34
1.4.3	Definizioni statistiche	35
1.4.4	Quantificare l'errore casuale	36
1.4.4.1	Limiti di confidenza.....	39
1.4.4.2	Varianza.....	41
1.4.5	Rifiuto dei risultati.....	41
1.5	Esecuzione delle misure	42
1.5.1	Segnale e rumore.....	43
1.6	Metodi di taratura.....	46
1.6.1	Tracciare le curve di taratura.....	46
1.6.2	Taratura con standard esterni.....	47
1.6.3	Metodo delle aggiunte standard	50
1.6.4	Taratura con standard interno	52
1.7	Valutazione dei dati	54
1.7.1	Llimite di rivelabilità	55
1.7.2	Limite di quantificazione.....	56
	Problemi.....	56
	Bibliografia.....	59
Capitolo 2	Introduzione alla spettroscopia.....	63
2.1	L'interazione tra la radiazione elettromagnetica e la materia.....	63
2.1.1	Cos'è la radiazione elettromagnetica?	63
2.1.2	In che modo la radiazione elettromagnetica interagisce con la materia?	65
2.2	Atomi e spettroscopia atomica.....	69
2.3	Molecole e spettroscopia molecolare.....	71
2.3.1	Transizioni rotazionali nelle molecole	71

2.3.2	Transizioni vibrazionali nelle molecole.....	72
2.3.3	Transizioni elettroniche nelle molecole.....	72
2.4	Le leggi dell'assorbimento.....	73
2.4.1	Deviazioni dalla legge di Beer.....	76
2.4.2	Errori associati alla legge di Beer.....	77
2.5	Sistemi ottici utilizzati in spettroscopia.....	80
2.5.1	Sorgenti di radiazioni.....	81
2.5.2	Dispositivi di selezione della lunghezza d'onda.....	81
2.5.2.1	Filtri.....	81
2.5.2.2	Monocromatore.....	82
2.5.2.3	Risoluzione richiesta per separare due linee a diversa lunghezza d'onda.....	85
2.5.3	Fenditure ottiche.....	90
2.5.4	Rivelatori.....	91
2.5.5	Ottiche a singolo e a doppio raggio.....	92
2.5.6	Assesti ottici di tipo dispersivo.....	94
2.5.7	Spettrometri a trasformata di Fourier.....	95
2.6	La tecnica spettroscopica e la nomenclatura degli strumenti.....	97
	Esperimenti suggeriti.....	97
	Problemi.....	98
	Bibliografia.....	101
Capitolo 3	Spettroscopia molecolare nel visibile e nell'ultravioletto.....	103
3.1	Introduzione.....	103
3.1.1	Eccitazione elettronica nelle molecole.....	106
3.1.2	Assorbimento da parte delle molecole.....	109
3.1.3	Assorbività molare.....	110
3.1.4	La forma delle curve di assorbimento UV.....	111
3.1.5	Solventi per spettroscopia UV/VIS.....	113
3.2	Strumentazione.....	114
3.2.1	Il sistema ottico.....	114
3.2.2	Sorgenti di radiazione.....	115
3.2.3	Monocromatori.....	117
3.2.4	Rivelatori.....	117
3.2.4.1	Cella a strati barriera.....	117
3.2.4.2	Tubo fotomoltiplicatore.....	119
3.2.4.3	Rivelatori a semiconduttore: diodi e sistemi ad array di diodi.....	120
3.2.4.4	Diodi.....	122
3.2.4.5	Array di diodi.....	123
3.2.5	Porta-campioni.....	124
3.2.5.1	Celle per campioni liquidi e gassosi.....	124
3.2.5.2	Cuvette abbinata.....	126
3.2.5.3	Campionatori a flusso.....	127
3.2.5.4	Porta-campioni solidi.....	128
3.2.5.5	Sonde a fibra ottica.....	128
3.2.6	Spettrometri UV/VIS a microvolume, nanovolume e portatili.....	129
3.3	Applicazioni analitiche.....	135
3.3.1	Analisi qualitativa strutturale.....	135
3.3.2	Analisi quantitativa.....	136
3.3.3	Determinazioni multicomponenti.....	141
3.3.4	Altre applicazioni.....	142
3.3.4.1	Cinetiche di reazione.....	142
3.3.4.2	Titolazioni spettrofotometriche.....	143
3.3.4.3	Spettroelettrochimica.....	144
3.3.4.4	Analisi dei solidi.....	144
3.3.5	Misura del colore.....	144
3.4	Nefelometria e turbidimetria.....	146

3.5	Spettrometria di emissione molecolare	148
3.5.1	Fluorescenza e fosforescenza.....	148
3.5.2	Relazione tra intensità e concentrazione.....	150
3.6	Strumentazione per misure di luminescenza	152
3.6.1	Dispositivi di selezione della lunghezza d'onda	152
3.6.2	Sorgenti di radiazione	153
3.6.3	Rivelatori.....	154
3.6.4	Celle campione	155
3.7	Applicazioni analitiche della luminescenza	155
3.7.1	Vantaggi della fluorescenza e della fosforescenza.....	157
3.7.2	Svantaggi della fluorescenza e della fosforescenza	158
	Esperimenti suggeriti.....	158
	Problemi.....	160
	Bibliografia	163
Capitolo 4	Spettroscopia infrarossa, nel vicino infrarosso e Raman.....	165
4.1	Assorbimento della radiazione IR da parte delle molecole.....	166
4.1.1	I momenti di dipolo nelle molecole.....	166
4.1.2	Tipologie di vibrazioni nelle molecole.....	168
4.1.3	Il moto vibrazionale.....	170
4.2	Strumentazione per IR.....	171
4.2.1	Sorgenti di radiazione	173
4.2.1.1	Sorgenti per il medio IR.....	174
4.2.1.2	Sorgenti per il NIR.....	176
4.2.1.3	Sorgenti per il lontano IR.....	177
4.2.1.4	Sorgenti laser per IR.....	177
4.2.2	Monocromatori e interferometri.....	177
4.2.2.1	Spettrometri FT.....	178
4.2.2.2	Componenti dell'interferometro	181
4.2.3	Rivelatori.....	183
4.2.3.1	Bolometro	184
4.2.3.2	Rivelatori piroelettrici	184
4.2.3.3	Rivelatori di fotoni	184
4.2.4	Tempo di risposta dei rivelatori.....	185
4.3	Tecniche per il trattamento dei campioni.....	186
4.3.1	Tecniche per misure in trasmissione (assorbimento).....	186
4.3.1.1	Campioni solidi	186
4.3.1.2	Campioni liquidi.....	189
4.3.1.3	Campioni gassosi.....	191
4.3.2	Correzione del fondo nelle misure in trasmissione	192
4.3.2.1	Assorbimento del solvente	192
4.3.2.2	Assorbimento dell'aria.....	193
4.3.3	Tecniche per misure in riflettanza e in emissione.....	193
4.3.3.1	Riflettanza totale attenuata (ATR)	193
4.3.3.2	Riflettanza speculare	195
4.3.3.3	Riflettanza diffusa	197
4.3.3.4	Emissione IR	198
4.4	Microscopia FTIR.....	198
4.5	Sistemi IR non dispersivi	202
4.6	Applicazioni analitiche della spettroscopia IR.....	204
4.6.1	Analisi qualitative e determinazione della struttura mediante spettroscopia di assorbimento nel medio IR.....	206
4.6.2	Analisi quantitative mediante spettrometria IR	209
4.7	Spettroscopia nel vicino IR.....	212
4.7.1	Strumentazione	212
4.7.2	Bande vibrazionali NIR	212
4.7.3	Calibrazione nel NIR: chemiometria.....	213

4.7.4	Tecniche di trattamento dei campioni per la spettroscopia NIR.....	215
4.7.4.1	Liquidi e soluzioni.....	215
4.7.4.2	Solidi.....	216
4.7.4.3	Gas.....	217
4.7.5	Applicazioni della spettroscopia NIR.....	217
4.8	Spettroscopia Raman.....	219
4.8.1	Principi della diffusione Raman.....	220
4.8.2	Strumentazione Raman.....	222
4.8.2.1	Sorgenti di radiazione.....	223
4.8.2.2	Spettrometri dispersivi.....	223
4.8.2.3	Spettrometri FT-Raman.....	224
4.8.2.4	Sistemi modulari e portatili a fibre ottiche.....	226
4.8.2.5	Campioni e porta-campioni per spettroscopia Raman.....	228
4.8.3	Applicazioni della spettroscopia Raman.....	228
4.8.4	Effetto Raman di risonanza.....	233
4.8.5	Spettroscopia Raman intensificata per effetto di superficie (SERS).....	234
4.8.6	Microscopia Raman.....	235
4.9	Tecniche di imaging chimico basate sulla spettroscopia NIR, IR e Raman.....	236
	Esperimenti suggeriti.....	243
	Problemi.....	244
	Bibliografia.....	245
Capitolo 5	Spettroscopia di risonanza magnetica.....	247
5.1	Spettroscopia di risonanza magnetica nucleare: introduzione.....	247
5.1.1	Proprietà dei nuclei.....	248
5.1.2	Quantizzazione dell'energia dei nuclei ^1H in un campo magnetico.....	250
5.1.2.1	Saturazione e intensità del campo magnetico.....	252
5.1.3	Larghezza delle righe di assorbimento.....	254
5.1.3.1	Omogeneità del campo.....	254
5.1.3.2	Rilassamento.....	255
5.1.3.3	Spostamento chimico.....	256
5.1.3.4	Rotazione ad angolo magico.....	256
5.1.3.5	Altre origini dell'allargamento di riga.....	257
5.2	L'esperimento FTNMR.....	257
5.3	Spostamento chimico.....	259
5.4	Accoppiamento spin-spin.....	265
5.5	Strumentazione.....	271
5.5.1	Porta-campione.....	271
5.5.2	Sonda.....	274
5.5.3	Magnete.....	274
5.5.4	Generazione e rilevamento di radiofrequenze.....	276
5.5.5	Integratore del segnale e computer.....	277
5.6	Applicazioni analitiche della NMR.....	277
5.6.1	Campioni e preparazione del campione per NMR.....	277
5.6.2	Analisi qualitative: determinazione della struttura molecolare.....	278
5.6.2.1	Relazione tra l'area di un picco e la struttura molecolare.....	278
5.6.2.2	Scambio chimico.....	279
5.6.2.3	Esperimenti in doppia risonanza.....	280
5.6.3	NMR del ^{13}C	282
5.6.3.1	Disaccoppiamento eteronucleare.....	284
5.6.3.2	L'effetto Overhauser nucleare.....	285
5.6.3.3	Spettri ^{13}C NMR di solidi.....	285
5.6.4	NMR bidimensionale.....	285
5.6.5	Analisi qualitative: altre applicazioni.....	289
5.6.6	Analisi quantitative.....	291
5.7	Tecniche NMR combinate.....	294
5.8	NMR per immagini e MRI.....	294

5.9	Strumenti NMR a basso campo, portatili e in miniatura.....	298
5.10	Limiti della NMR.....	299
	Esperimenti suggeriti.....	301
	Problemi.....	302
	Bibliografia.....	303
Capitolo 6	Spettrometria di assorbimento atomico	305
6.1	Assorbimento dell'energia radiante da parte degli atomi.....	305
6.1.1	Ampiezza della linea spettrale.....	307
6.1.2	Quantità di energia radiante assorbita	308
6.2	La strumentazione	308
6.2.1	Le sorgenti della radiazione.....	309
6.2.1.1	La lampada a catodo cavo (HCL)	309
6.2.1.2	La lampada a scarica senza elettrodi (EDL)	311
6.2.2	I sistemi di atomizzazione.....	312
6.2.2.1	Gli atomizzatori con fiamma	312
6.2.2.2	Gli atomizzatori elettrotermici.....	314
6.2.2.3	Altri atomizzatori.....	316
6.2.3	Ottica dello spettrometro.....	317
6.2.3.1	Il monocromatore	317
6.2.3.2	Ottica e configurazione dello spettrometro AAS	318
6.2.4	I rivelatori	319
6.2.5	La modulazione	319
6.2.6	I sistemi AAS commerciali	320
6.2.6.1	Il sistema AAS ad alta risoluzione con sorgente continua	321
6.3	Il processo di atomizzazione.....	322
6.3.1	Atomizzazione con fiamma.....	322
6.3.2	L'atomizzazione con il fornetto di grafite.....	326
6.4	Le interferenze nella tecnica AAS	328
6.4.1	Le interferenze non spettrali.....	328
6.4.1.1	Le interferenze chimiche	328
6.4.1.2	Le interferenze da matrice.....	329
6.4.1.3	Le interferenze da ionizzazione.....	330
6.4.1.4	Le interferenze non spettrali in GFAAS.....	330
6.4.1.5	La modificazione chimica.....	332
6.4.2	Le interferenze spettrali	334
6.4.2.1	Le interferenze spettrali atomiche	334
6.4.2.2	Assorbimento del fondo spettrale e sistemi di correzione	334
6.4.2.3	Correzione del fondo spettrale con sorgente continua	335
6.4.2.4	Correzione del fondo spettrale con il sistema Zeeman	337
6.4.2.5	Correzione del fondo spettrale con il sistema Smith-Hieftje	338
6.4.2.6	Le interferenze spettrali nella tecnica GFAAS.....	339
6.5	Le applicazioni analitiche della tecnica AAS	340
6.5.1	Analisi qualitativa	341
6.5.2	Analisi quantitativa.....	341
6.5.2.1	Intervallo di concentrazione di lavoro	341
6.5.2.2	Metodi di calibrazione in AAS.....	341
6.5.3	Analisi di campioni.....	344
6.5.3.1	I campioni liquidi.....	344
6.5.3.2	I campioni solidi	344
6.5.3.3	I campioni gassosi.....	347
6.5.3.4	La tecnica dei vapori freddi	347
6.5.3.5	La tecnica di generazione di idruri	348
6.5.3.6	Analisi per iniezione in flusso.....	349
6.5.3.7	Microcampionamento in fiamma	349
	Esperimenti suggeriti	350
	Problemi	352
	Bibliografia.....	354

Capitolo 7	Spettroscopia di emissione atomica.....	355
7.1	Spettroscopia di emissione atomica a fiamma.....	356
7.1.1	Strumentazione per la spettrometria di emissione a fiamma.....	357
7.1.1.1	Il bruciatore.....	357
7.1.1.2	Dispositivi di selezione della lunghezza d'onda.....	357
7.1.1.3	Rivelatori.....	358
7.1.1.4	La sorgente di eccitazione a fiamma.....	358
7.1.2	Interferenze.....	360
7.1.2.1	Interferenza chimica.....	360
7.1.2.2	Interferenze di eccitazione e ionizzazione.....	360
7.1.2.3	Interferenze spettrali.....	361
7.1.3	Applicazioni analitiche della spettroscopia di emissione atomica in fiamma.....	362
7.1.3.1	Analisi qualitativa.....	362
7.1.3.2	Analisi quantitativa.....	362
7.2	Spettroscopia atomica di emissione ottica.....	365
7.2.1	Strumentazione per la spettroscopia a emissione.....	365
7.2.1.1	Fonti di eccitazione elettrica.....	366
7.2.1.2	Porta-campioni.....	370
7.2.1.3	Spettrometri.....	372
7.2.1.4	Rivelatori.....	376
7.2.2	Interferenze nella spettroscopia di emissione ad arco e a scintilla.....	378
7.2.2.1	Effetti della matrice e preparazione del campione.....	378
7.2.2.2	Interferenza spettrale.....	379
7.2.2.3	Calibrazione con standard interno.....	379
7.2.3	Applicazioni della spettroscopia di emissione ad arco e a scintilla.....	380
7.2.3.1	Analisi qualitativa.....	380
7.2.3.2	Riesultati.....	381
7.2.3.3	Analisi quantitativa.....	383
7.3	Spettroscopia di emissione al plasma.....	384
7.3.1	Strumentazione per la spettrometria di emissione al plasma.....	384
7.3.1.1	Fonti di eccitazione.....	384
7.3.1.2	Sistemi spettrometrici per la spettroscopia al plasma.....	388
7.3.1.3	Sistemi di introduzione del campione.....	391
7.3.2	Calibrazione e interferenze nella spettrometria di emissione al plasma.....	397
7.3.2.1	Interferenze chimiche e di ionizzazione.....	399
7.3.2.2	Interferenza spettrale e sua correzione.....	400
7.3.3	Applicazioni della spettroscopia di emissione atomica.....	403
7.3.4	Speciazione chimica con strumenti iperfocati.....	405
7.4	Spettrometria di emissione con scarica a bagliore.....	406
7.4.1	Sorgenti DC e RF GD.....	406
7.4.2	Applicazioni della spettrometria a emissione atomica GD.....	407
7.4.2.1	Analisi della massa.....	407
7.4.2.2	Analisi del profilo di profondità.....	408
7.5	Spettroscopia di fluorescenza atomica.....	408
7.5.1	Strumentazione per L'AFS.....	411
7.5.2	Interferenze in AFS.....	412
7.5.2.1	Interferenza chimica.....	412
7.5.2.2	Interferenza spettrale.....	413
7.5.3	Applicazioni della AFS.....	413
7.5.3.1	Determinazione e speciazione del mercurio tramite AFS.....	413
7.5.3.2	Generazione e speciazione dell'idruro mediante AFS.....	414
7.6	Spettroscopia di rottura indotta da laser (LIBS).....	414
7.6.1	Principio di funzionamento.....	414
7.6.2	Strumentazione.....	415
7.6.3	Applicazioni della tecnica LIBS.....	416
7.6.3.1	Analisi qualitativa.....	417

	7.6.3.2	Analisi quantitativa.....	418
	7.6.3.3	Analisi a distanza.....	419
7.7		Letteratura sulle emissioni atomiche	421
		Esperimenti suggeriti.....	421
		Problemi.....	423
		Bibliografia.....	425
Capitolo 8		Spettroscopia a raggi X.....	429
8.1		Origine degli spettri a raggi X.....	429
	8.1.1	Livelli di energia negli atomi.....	429
	8.1.2	Legge di Moseley.....	435
	8.1.3	Raggi X: metodi.....	436
	8.1.3.1	Processo di assorbimento dei raggi X	436
	8.1.3.2	Processo di fluorescenza a raggiera.....	439
	8.1.3.3	Processo di diffrazione dei raggi.....	440
8.2		Fluorescenza a raggi X.....	441
	8.2.1	Sorgente di raggi X.....	441
	8.2.1.1	Tubo a raggi X.....	442
	8.2.1.2	Sorgenti XRF secondarie	446
	8.2.1.3	Sorgenti di radioisotopi.....	446
	8.2.2	Strumentazione per la spettrometria a raggi X a dispersione di energia.....	447
	8.2.2.1	Sorgente di citazione	448
	8.2.2.2	Modificatori primari del fascio.....	449
	8.2.2.3	Porta-campioni	451
	8.2.2.4	Rivelatori EDXRF	456
	8.2.2.5	Rivelatore multicanale ad altezza di impulsi.....	459
	8.2.2.6	Rivelatore di picchi di fuga e somma di picchi.....	460
	8.2.3	Strumentazione per la spettrometria a raggi X a dispersione di lunghezza d'onda.....	462
	8.2.3.1	Collimatori.....	463
	8.2.3.2	Cristalli analizzatori.....	464
	8.2.3.3	Rivelatori.....	467
	8.2.3.4	Unità di elaborazione elettronica degli impulsi.....	472
	8.2.3.5	Sistemi per il posizionamento dei campioni.....	473
	8.2.4	Spettrometri WDXRF simultanei.....	473
	8.2.5	Micro-strumentazione XRF	475
	8.2.5.1	Micro-ottica a raggi X	475
	8.2.5.2	Componenti del sistema micro-XRFS.....	477
	8.2.6	XRF a riflessione totale.....	478
	8.2.7	Confronto tra EDXRF e WDXRF.....	478
	8.2.8	Applicazioni XRF.....	478
	8.2.8.1	Lo strato analizzato.....	479
	8.2.8.2	Considerazioni sulla preparazione del campione per XRF	481
	8.2.8.3	Analisi qualitativa mediante XRF.....	484
	8.2.8.4	Analisi quantitativa mediante XRF	488
8.3		Assorbimento dei raggi X.....	493
8.4		Diffrazione dei raggi X	497
	8.4.1	Diffrattometria a raggi X di un singolo cristallo	500
	8.4.2	Crescita dei cristalli.....	501
	8.4.3	Determinazione della struttura cristallina.....	503
	8.4.4	Diffrattometria a raggi X della polvere	505
	8.4.5	Sistemi ibridi XRD/XRF.....	506
	8.4.6	Applicazioni di XRD	508
8.5		Emissione di raggi X.....	511
		Esperimenti suggeriti.....	513
		Problemi.....	514
		Bibliografia.....	515

Capitolo 9	Spettrometria di massa.....	517
9.1	Principi di spettrometria di massa.....	518
9.1.1	Potere risolvante e risoluzione di uno spettrometro di massa.....	523
9.2	Strumentazione.....	525
	Breve digressione sulle unità di misura – sistemi da vuoto.....	525
9.2.1	Sistemi di inserimento del campione.....	525
9.2.1.1	Espansione in fase gas.....	525
9.2.1.2	Sonde a introduzione diretta e ad esposizione diretta.....	526
9.2.1.3	Sistemi cromatografici ed elettroforetici.....	526
9.2.2	Sorgenti di ionizzazione.....	527
9.2.2.1	Ionizzazione elettronica (EI).....	527
9.2.2.2	Ionizzazione chimica (CI).....	528
9.2.2.3	Sorgenti di ionizzazione chimica a pressione atmosferica.....	529
9.2.2.4	Ionizzazione per desorbimento.....	533
9.2.2.5	Sorgenti di ionizzazione per MS di specie inorganiche.....	538
9.2.3	Analizzatori di massa.....	540
9.2.3.1	Settore magnetico e settore elettrostatico.....	540
9.2.3.2	Analizzatore a tempo di volo.....	544
9.2.3.3	Analizzatore a quadrupolo.....	549
9.2.3.4	Strumenti per MS/MS e MS ^N	551
9.2.3.5	Trappola ionica quadrupolare.....	553
9.2.3.6	Analizzatore a risonanza ciclotronica in trasformata di Fourier.....	555
9.2.3.7	Il sistema Orbitrap™.....	557
9.2.4	Rivelatori.....	558
9.2.4.1	Elettromoltiplicatore.....	558
9.2.4.2	Coppa di Faraday.....	559
9.2.4.3	Array di rivelatori.....	561
9.3	Spettrometria di mobilità ionica.....	561
9.3.1	Rivelatore DMS portatile JUNO® per l'analisi di tracce in fase vapore.....	562
9.3.2	Sistema HPIMS-LC Excellims.....	563
9.3.3	Motore spettrometrico Photonis a mobilità ionica.....	564
9.3.4	Sistema MS multistadio Synapt G2-S dotato di sistema a mobilità ionica triWAVE.....	564
9.4	Applicazioni della spettrometria di massa molecolare.....	565
9.4.1	Spettrometria di massa ad alta risoluzione.....	569
9.4.1.1	Ottenere migliore accuratezza (ma non risoluzione) dagli spettrometri di massa a bassa risoluzione.....	570
9.4.1.2	Migliorare l'accuratezza quantitativa nella determinazione dei rapporti isotopici da dati ottenuti con strumenti a bassa risoluzione.....	571
9.4.2	Analisi quantitativa di composti e miscele.....	572
9.4.3	Sequenziamento delle proteine (proteomica).....	576
9.4.4	Analisi di gas.....	577
9.4.5	Applicazioni ambientali.....	578
9.4.6	Altre applicazioni della spettrometria di massa molecolare.....	578
9.4.7	Limitazioni della spettrometria di massa molecolare.....	580
9.5	Spettrometria di massa atomica.....	580
9.5.1	Spettrometria di massa al plasma accoppiato induttivamente (ICP-MS).....	580
9.5.2	Applicazioni della MS atomica.....	583
9.5.2.1	Applicazioni a studi geologici e alla caratterizzazione di materiali.....	585
9.5.2.2	Speciazione mediante accoppiamento della cromatografia con ICP-MS.....	587
9.5.2.3	Applicazioni nella chimica degli alimenti, nella chimica ambientale, in biochimica, in chimica clinica e in medicina.....	589
9.5.2.4	Analisi elementare accoppiata con la spettrometria di massa.....	591
9.5.3	Interferenze in MS atomica.....	592
9.5.3.1	Effetti matrice.....	592
9.5.3.2	Interferenze spettrali (isobare).....	592
9.5.4	Approcci strumentali per eliminare le interferenze.....	595

9.5.4.1	ICP-MS ad alta risoluzione (HR-ICP-MS)	595
9.5.4.2	Celle di collisione e di reazione.....	595
9.5.4.3	Rimozione di interferenze mediante MS/MS.....	596
9.5.5	Limitazioni della spettrometria di massa atomica.....	598
9.5.5.1	Effetti spuri più comuni in spettrometria di massa.....	599
	Problemi.....	600
	Bibliografia.....	602
Capitolo 10	I fondamenti della cromatografia.....	605
10.1	Introduzione alla cromatografia.....	605
10.2	Che cos'è il processo cromatografico?	606
10.3	Cromatografia bidimensionale.....	609
10.4	Visualizzazione del processo cromatografico a livello molecolare: analogia con "persone su un nastro trasportatore in movimento".....	611
10.5	Il ruolo centrale dei composti silicio-ossigeno in cromatografia.....	615
10.6	Le equazioni fondamentali che descrivono le separazioni cromatografiche	619
10.7	In che modo le variabili della colonna influenzano l'efficienza (altezza del piatto)?	622
10.8	Ottimizzazione pratica delle separazioni cromatografiche.....	624
10.9	Effetti extracolonnari di allargamento della banda.....	625
10.10	Cromatografia qualitativa: identificazione dell'analita.....	626
10.11	Misure quantitative in cromatografia.....	627
10.11.1	Area del picco o altezza del picco: cosa è meglio per la quantificazione?	627
10.11.2	Taratura con standard esterno.....	629
10.11.3	Taratura con standard interno	630
10.12	Esempi di calcoli cromatografici	630
	Problemi.....	633
	Domande basate sull'esempio riportato nella Sezione 10.12, Tabelle 10.1 e 10.2.....	634
	Bibliografia.....	634
Capitolo 11	Gas Cromatografia.....	635
11.1	Evoluzione storica della GC: la prima strumentazione cromatografica	635
11.2	Progressi della GC che hanno portato alla strumentazione odierna.....	637
11.3	Componenti della strumentazione GC (iniettori).....	639
11.3.1	Siringhe	639
11.3.2	Autocampionatori.....	641
11.3.3	Microestrazione in fase solida (SPME).....	641
11.3.4	Iniezioni split (frazionate).....	642
11.3.5	Iniezioni splitless.....	643
11.4	Progettazione dei componenti della strumentazione GC (la colonna).....	644
11.4.1	Fase stazionaria della colonna	644
11.4.2	Scelta della fase stazionaria per un'applicazione	646
11.4.3	Effetti della scelta della fase mobile e dei parametri di flusso	649
11.5	Funzionamento dello strumento GC (dimensioni della colonna e valori di eluizione).....	650
11.6	Funzionamento dello strumento GC (temperatura della colonna e valori di eluizione).....	652
11.7	Struttura dei componenti GC (rivelatori).....	657
11.7.1	Rivelatore di conducibilità termica (TCD).....	659
11.7.2	Rivelatore a ionizzazione di fiamma (FID).....	660
11.7.3	Rivelatore a cattura di elettroni (ECD).....	661
11.7.4	Rivelatore a conducibilità elettrolitica (ELCD).....	663
11.7.5	Rivelatore fotometrico a fiamma zolfo-fosforo (SP-FDP).....	664
11.7.6	Rivelatore a chemiluminescenza di zolfo (SCD).....	664
11.7.7	Rivelatore azoto-fosforo (NPD).....	664
11.7.8	Rivelatore a fotoionizzazione (PID).....	665
11.7.9	Rivelatore a ionizzazione di elio (HID).....	665
11.7.10	Rivelatore a emissione atomica (AED)	667

11.8	Tecniche ifenate GC (GC-MS; GC-IR; GC-GC; 2D-GC)	667
11.8.1	Gasromatografia-spettrometria di massa (GC-MS).....	668
11.8.2	Gasromatografia-spettrometria IR (GC-IR)	671
11.8.3	Gasromatografia bidimensionale (GcxGC o GC ²)	672
11.9	Indici di ritenzione (generalizzazione dell'informazione del R_t relativo).....	675
11.10	Lo scopo delle analisi GC	677
11.10.1	Comportamento GC delle classi di composti organici	678
11.10.2	Derivatizzazione di analiti complessi per migliorarne l'eluizione in GC.....	679
11.10.3	Analisi dei gas con la GC.....	680
11.10.4	Limiti della gasromatografia.....	682
	Problemi.....	682
	Bibliografia.....	686

Capitolo 12 Cromatografia con fasi mobili liquide

12.1	Cromatografia liquida ad alte prestazioni.....	687
12.1.1	Colonna HPLC e fasi stazionarie.....	688
12.1.1.1	Considerazioni sulle particelle di supporto.....	690
12.1.1.2	Considerazioni sulla fase stazionaria	693
12.1.1.3	Fasi chirali per la separazione di enantiomeri.....	693
12.1.1.4	Nuove combinazioni di fasi HPLC per biomolecole molto polari.....	694
12.1.2	Effetti sulla separazione della composizione della fase mobile.....	695
12.1.3	Progettazione e funzionamento di uno strumento HPLC.....	697
12.1.4	Progettazione e funzionamento del rivelatore HPLC	701
12.1.4.1	Rivelatore a indice di rifrazione (RI).....	702
12.1.4.2	Rivelatori di aerosol: ELSD e CAD.....	702
12.1.4.3	Rivelatori di assorbimento UV/VIS e IR.....	705
12.1.4.4	Rivelatore a fluorescenza	707
12.1.4.5	Rivelatori elettrochimici.....	708
12.1.5	Derivatizzazione in HPLC.....	713
12.1.6	Tecniche ifenate in HPLC.....	715
12.1.6.1	Interfacciamento HPLC con spettrometria di massa.....	716
12.1.7	Applicazioni di HPLC.....	720
12.2	Cromatografia di ioni sciolti in liquidi	723
12.2.1	Cromatografia ionica	726
12.2.1.1	IC a colonna singola.....	731
12.2.1.2	Rilevamento indiretto in IC.....	731
12.3	Cromatografia di affinità.....	731
12.4	Cromatografia a esclusione dimensionale (SEC).....	733
12.5	Cromatografia con fluido supercritico.....	735
12.5.1	Condizioni operative.....	736
12.5.2	Effetto della pressione	736
12.5.3	Fasi stazionarie e mobili	736
12.5.4	SFC a confronto con altri metodi in colonna	737
12.5.5	Applicazioni.....	737
12.5.6	UPCC o UPC ² - una nuova sintesi.....	738
12.6	Elettroforesi.....	738
12.6.1	Elettroforesi capillare a zona (CZE)	739
12.6.2	Iniezione del campione in CZE.....	744
12.6.3	Rilevamento in CZE	745
12.6.4	Applicazioni di CZE.....	746
12.6.5	Modalità di CE.....	747
12.7	Cromatografia planare ed elettroforesi planare.....	747
12.7.1	Cromatografia su strato sottile (TLC)	747
12.7.2	Elettroforesi planare su lastra di gel.....	750
	Problemi ed esercizi.....	752
	Bibliografia.....	754

Capitolo 13	Chimica elettroanalitica.....	757
13.1	Fondamenti dell'elettrochimica.....	757
13.2	Le celle elettrochimiche	759
13.2.1	Rappresentazione schematica di celle e semi-celle.....	762
13.2.2	Potenziali standard di riduzione: l'elettrodo standard a idrogeno	762
13.2.3	La convenzione del segno	765
13.2.4	L'equazione di Nernst	765
13.2.5	Serie di attività	766
13.2.6	Elettrodi di riferimento.....	767
13.2.6.1	Elettrodo a calomelano saturo.....	768
13.2.6.2	Elettrodo ad argento/cloruro d'argento.....	769
13.2.7	Doppio strato elettrico.....	769
13.3	Metodi elettroanalitici.....	770
13.3.1	Potenziometria	770
13.3.1.1	Elettrodi indicatori.....	772
13.3.1.2	Strumentazione per misurare il potenziale.....	779
13.3.1.3	Applicazioni analitiche della potenziometria	781
13.3.2	Coulombometria.....	792
13.3.2.1	Strumentazione per elettrogravimetria e coulombometria.....	794
13.3.2.2	Potenziale applicato	795
13.3.2.3	Elettrogravimetria.....	796
13.3.2.4	Determinazioni analitiche basate sulla legge di Faraday	797
13.3.2.5	Coulombometria a potenziale controllato.....	798
13.3.2.6	Titolazioni coulombometriche.....	799
13.3.3	Analisi conduttimetrica.....	801
13.3.3.1	Strumentazione per misure di conduttività.....	803
13.3.3.2	Applicazioni analitiche delle misure conduttimetriche	804
13.3.4	Polarografia.....	807
13.3.4.1	Polarografia classica o polarografia DC.....	808
13.3.4.2	Potenziale di mezz'onda	813
13.3.4.3	Polarografia a impulso normale	813
13.3.4.4	Polarografia ad impulso differenziale.....	815
13.3.5	Voltammetria.....	818
13.3.5.1	Strumentazione per voltammetria.....	819
13.3.5.2	Voltammetria ciclica	819
13.3.5.3	Voltammetria di stripping	820
13.4	Spettroelettrochimica.....	823
	Esperimenti suggeriti.....	827
	Problemi.....	828
	Bibliografia.....	829
Capitolo 14	Analisi termica.....	831
14.1	Termogravimetria	833
14.1.1	Strumentazione TGA.....	835
14.1.2	Applicazioni analitiche di termogravimetria.....	838
14.1.3	Termogravimetria derivata.....	843
14.1.4	Sorgenti di errore in termogravimetria	845
14.2	Analisi termica differenziale.....	846
14.2.1	Strumentazione DTA.....	847
14.2.2	Applicazioni analitiche della DTA.....	849
14.3	Calorimetria differenziale a scansione	851
14.3.1	Strumentazione DSC.....	851
14.3.2	Applicazioni DSC.....	857
14.3.2.1	DSC a pressione.....	859
14.3.2.2	DSC modulato	860

14.4	Tecniche ifenate.....	860
14.4.1	Metodi termici ifenati.....	860
14.4.2	Analisi dei gas sviluppati.....	861
14.5	Titrimetria termometrica.....	864
14.6	Entalpietria a iniezione diretta.....	866
14.7	Microcalorimetria.....	867
14.7.1	Strumentazione micro-DSC.....	868
14.7.2	Applicazioni della micro-DSC.....	869
14.7.3	Calorimetria isoterica di titolazione.....	872
14.7.4	Calorimetria a flusso di microlitri.....	874
	Una nota sui materiali di riferimento.....	874
	Esperimenti suggeriti.....	875
	Problemi.....	876
	Bibliografia.....	878
	Soluzioni dei Problemi.....	881
	Indice analitico.....	924

Abbreviazioni e acronimi

La strumentazione per la chimica analitica è fonte di molte abbreviazioni, alcune sotto forma di “acronimi”. Anche noi abbiamo utilizzato spesso abbreviazioni e acronimi nel testo. Un lettore non esperto in questo settore potrebbe fare fatica a orientarsi in questa selva di iniziali. Per aiutare gli studenti a leggere il testo abbiamo riportato qui sotto l’elenco di tutte le abbreviazioni e tutti gli acronimi usati e indicato il capitolo in cui sono stati maggiormente definiti o caratterizzati. Spesso gli acronimi sono in forma composta, come UV/VIS (ultravioletto/visibile). I termini che compongono le abbreviazioni composte sono elencati singolarmente nell’elenco, ma non ci sono tutte le combinazioni possibili. Tutti gli acronimi sono abbreviazioni, ma non viceversa. Ad esempio, CLIPS, DART, DRIFTS e COSY sono acronimi perché formano delle parole o sono pronunciati come parole, GFAAS, APCI e FTIR sono abbreviazioni.

Acronimo	Capitolo	Scioglimento	Acronimo	Capitolo	Scioglimento
AAS	6	Spettrometria di assorbimento atomico, <i>Atomic absorption spectrometry</i>	ASBC	5	<i>American Society of Brewing Chemists</i>
AC	12	Corrente alternata (o voltaggio), <i>Alternating current</i>	ASE	1	Estrazione accelerata con solvente, <i>Accelerated solvent extraction</i>
ACN	12	Acetonitrile	ASTM	1	<i>American Society for Testing and Materials</i>
AED	11	Rivelatore a emissione atomica, <i>Atomic emission detector</i>	ATP	5	Adenosina trifosfato, <i>Adenosine triphosphate</i>
AES	7	Spettroscopia di emissione atomica, <i>Atomic emission spectroscopy</i>	ATR	4	Riflettanza totale attenuata, <i>Attenuated total reflectance</i>
AFS	7	Spettroscopia a fluorescenza atomica, <i>Atomic fluorescence spectroscopy</i>	BCA	3	Acido biconchinico, <i>Bicinchoninic acid</i>
amu	9	Unità di massa atomica, <i>Atomic mass unit</i>	BID	11	Rivelatore a ionizzazione di scarica a barriera dielettrica, <i>(Dielectric) Barrier discharge detector (GC)</i>
AOAC	1	<i>Association of Official Analytical Chemists</i>	BTEX	11	Benzene, toluene, etilbenzene, xileni, <i>Benzene, toluene, ethylbenzene, xylenes</i>
AOCS	5	<i>American Oil Chemists’ Society</i>	CAD	12	<i>Corona charged aerosol detector</i>
APCI	9	Ionizzazione chimica a pressione atmosferica, <i>Atmospheric pressure chemical ionization</i>	CAT	8	Tomografia assiale computerizzata, <i>Computed axial tomography</i>
APDC	6	Ammonio pirrolidin ditiocarbammato, <i>Ammonium pyrrolidine dithiocarbamate</i>	CCD	4	Dispositivo ad accoppiamento di carica (o rivelatore), <i>Charge coupled device (or detector)</i>
APHA	1	<i>American Public Health Association</i>	CD	1	<i>Compact disk</i>
API	5	<i>American Petroleum Institute</i>	CE	12	Elettroforesi capillare, <i>Capillary electrophoresis</i>
API	5	Ingredienti farmaceutici attivi, <i>Active pharmaceutical ingredients</i>	CE	13	Controelettrodo (in elettrochimica), <i>Counter electrode</i>
APPI	9	Fotoionizzazione a pressione atmosferica, <i>Atmospheric pressure photoionization</i>	CEM	9	Elettromoltiplicatore a canale, <i>Channel electron multiplier</i>
APT	5	Test del protone legato, <i>Attached proton test</i>	CFFAB	9	FAB a flusso continuo, <i>Continuous flow-FAB</i>
APXS	8	Spettrometro a raggi X a particelle alfa, <i>Alpha particle X-ray spectrometer</i>	CGE	12	Elettroforesi su gel capillare, <i>Capillary gel electrophoresis</i>

CI	9	Ionizzazione chimica, <i>Chemical ionization</i>	DEPT	5	Incremento del segnale mediante trasferimento di polarizzazioni senza distorsioni, <i>Distortionless enhancement by polarization transfer</i>
CID	7	Dispositivo a iniezione di carica (o rivelatore), <i>Charge injection device (or detector)</i>	DESI	9	Sorgente di ionizzazione elettrospray a desorbimento, <i>Desorption electrospray ionization</i>
CID	12	Dissociazione indotta dalla collisione, <i>Collision-induced dissociation</i>	DI	1	Deionizzato, <i>Deionized</i>
CIE	3	<i>Commission Internationale de l'Éclairage</i>	DI	9	Ionizzazione a desorbimento, <i>Desorption ionization</i>
CIMPS	14	Spettroscopio a fotocorrente modulata a intensità controllata, <i>Controlled intensity modulated photocurrent spectroscopy</i>	DID	12	Rivelatore a ionizzazione di scarica, <i>Discharge ionization detector</i>
CL	1	Livello di confidenza, <i>Confidence level</i>	DIE	14	Entalpiometria a iniezione diretta, <i>Direct injection enthalpimetry</i>
CLIP	7	<i>Collection of Line Intensity Profiles</i>	DIN	7	Nebulizzatore a inserimento diretto, <i>Direct insertion nebulizer</i>
CLIPS	9	<i>Calculated line intensity profiles</i>	DL	6	Limite di rivelabilità, <i>Detection limit</i>
CNES	7	<i>Centre national d'études spatiales</i>	DMD	12	Rivelatore con monocromatore a dispersione, <i>Dispersive monochromator detector</i>
cm	2	Centimetro	DME	13	Elettrodo a gocciolamento di mercurio, <i>Dropping mercury electrode</i>
COSY	5	Spettroscopia di correlazione, <i>Correlated spectroscopy</i>	DMS	9	Spettrometro di massa a mobilità differenziale, <i>Differential (ion) mobility spectrometry</i>
CPC	4	Concentratore parabolico composto, <i>Compound parabolic concentrator</i>	DMSO	4	Dimetilsolfossido, <i>Dimethylsulfoxide</i>
CPSIA	8	<i>Consumer Protection and Safety Improvement Act</i>	DNA	9	Acido desossiribonucleico, <i>Deoxyribonucleic acid</i>
CP-MAS	5	<i>Cross-polarization-MAS</i>	DR	4	Riflettanza diffusa, <i>Diffuse reflectance</i>
CRM	9	Materiale di riferimento certificato, <i>Certified reference material</i>	DRIFTS	4	Spettroscopia IR a trasformata di Fourier in riflettanza diffusa, <i>Diffuse-reflectance-IR-FT-spectroscopy</i>
CT	8	Tomografia computerizzata, <i>Computed tomography</i>	dsDNA	5	DNA a doppio filamento, <i>Double-stranded DNA</i>
CTD	7	Dispositivo a trasferimento di carica, <i>Charge transfer device</i>	DSC	14	Calorimetria differenziale a scansione, <i>Differential scanning calorimetry</i>
CTE	14	Coefficiente di espansione termica, <i>Coefficient of thermal expansion</i>	DTA	14	Analisi termica differenziale, <i>Differential thermal analysis</i>
CV	13	Voltammetria ciclica, <i>Cyclic voltammetry</i>	DTG	14	Termogravimetria derivata, <i>Derivative thermogravimetry</i>
CVAAS	6	Tecnica AAS dei vapori freddi, <i>Cold vapor-AAS</i>	DTGS	4	Solfato di triglicina deuterato, <i>Deuterated triglycine sulfate</i>
CW	5	Onda continua, <i>Continuous wave</i>	EC	9	Cattura elettronica (in MS), <i>Electron capture</i>
CZE	12	Elettroforesi capillare zonale, <i>Capillary zone electrophoresis</i>	ECD	11	Rivelatore a cattura di elettroni (in GC), <i>Electron capture detector</i>
DAD	12	Rivelatore a serie di diodi, <i>Diode array detector</i>	ECD	12	Rivelatore elettrochimico (in HPLC), <i>Electrochemical detector</i>
DART	9	Analisi diretta in tempo reale, <i>Direct analysis in real time</i>			
DC	6	Corrente continua, <i>Direct current</i>			
DCP	7	Plasma a corrente diretta, <i>Direct current plasma</i>			
DDT	1	Diclorodifeniltricloroetano, <i>Dichlorodiphenyltrichloroethane</i>			

ED	8	Dispersione di energia (con XRF), <i>Energy dispersive</i>	FIA	6	Analisi per iniezione in flusso, <i>Flow injection analysis</i>
EDL	6	Lampada a scarica senza elettrodi, <i>Electrodeless discharge lamp</i>	FID	5	Decadimento a induzione libera (in NMR), <i>Free induction decay</i>
EDS	8	Spettroscopia a dispersione di energia, <i>Energy-dispersive spectroscopy</i>	FID	11	Rivelatore a ionizzazione di fiamma (in GC), <i>Flame ionization detector</i>
EDTA	14	Acido etilendiamminotetraacetico, <i>Ethylenediaminetetraacetic acid</i>	FMC	14	Calorimetro a flusso di microlitri, <i>Flow microliter calorimeter</i>
EGA	14	Analisi dei gas svolti, <i>Evolved gas analysis</i>	FPA	4	Rivelatore a matrice sul piano focale, <i>Focal plane array</i>
EGD	14	Rivelazione dei gas sviluppati, <i>Evolved gas detection</i>	FPC	9	Fotocamera a piano focale, <i>Focal plane camera</i>
EI	9	Ionizzazione elettronica, <i>Electron ionization</i>	FPD	11	Rivelatore fotometrico a fiamma, <i>Flame photometric detector</i>
EIE	7	Elemento facilmente ionizzabile, <i>Easily ionized element</i>	FRP	5	Plastiche rinforzate con fibre, <i>Fiber-reinforced plastics</i>
ELCD	11	Rivelatore a conducibilità elettrolitica, <i>Electrolytic conductivity detector</i>	FT	1	Trasformata di Fourier, <i>Fourier transform</i>
ELSD	12	<i>Evaporative light scattering detector</i>	FT-MS	9	MS a risonanza di ciclotrone, <i>FT-ion cyclotron resonance (MS)</i>
EM	9	Elettromoltiplicatore, <i>Electron multiplier</i>	FTIR	4	Trasformata di Fourier IR, <i>Fourier transform IR</i>
EMA	9	<i>European Medicines Agency</i>	FTICR-MS	9	Spettrometria di massa in trasformata di Fourier, <i>Fourier transform mass spectrometry</i>
emf	13	Forza elettromotrice, <i>Electromotive force</i>	FT-NMR	5	NMR in trasformata di Fourier, <i>Fourier transform-NMR</i>
EOF	12	Flusso elettroosmotico, <i>Electroosmotic flow</i>	FWHM	8	Larghezza a metà altezza, <i>Full width at half maximum</i>
EPA	1	<i>Environmental Protection Agency</i>	GC	11	Gasromatografia, <i>Gas chromatography</i>
ESA	9	Settore elettrostatico, <i>Electrostatic analyzer</i>	GD	7	Scarica a bagliore, <i>Glow discharge</i>
ESI	9	Ionizzazione elettrospray, <i>Electrospray ionization</i>	GDMS	9	Spettrometria di massa a scarica a bagliore, <i>Glow discharge MS</i>
ETA	6	Atomizzatore elettrotermico, <i>Electrothermal atomizer</i>	GFAAS	6	AAS con fornello di grafite, <i>Graphite furnace-AAS</i>
ETD	9	Dissociazione per trasferimento elettronico, <i>Electron transfer dissociation</i>	GFC	12	Cromatografia a filtrazione su gel, <i>Gel filtration chromatography</i>
ETV	9	Vaporizzatore elettrotermico, <i>Electrothermal vaporization</i>	GPC	12	Cromatografia a permeazione su gel, <i>Gel permeation chromatography</i>
EU	3	Unione Europea, <i>European Union</i>	HCD	9	Dissociazione indotta da collisioni ad elevata energia, <i>High-energy collisional dissociation</i>
FAAS	6	Tecnica AAS con fiamma, <i>Flame-AAS</i>	HCL	6	Lampada a catodo cavo, <i>Hollow cathode lamp</i>
FAB	9	Bombardamento atomico rapido, <i>Fast atom bombardment</i>	HD	8	Alta densità, <i>High density</i>
FAME	11	Esteri metilici degli acidi grassi, <i>Fatty acid methyl ester</i>	HEPS	7	Pre-scintilla ad alta energia, <i>High energy prespark</i>
FC	8	Contatore proporzionale di flusso, <i>Flow proportional counter</i>	HETCOR	5	Correlazione di spostamenti chimici eteronucleari, <i>Heteronuclear chemical shift correlation</i>
FET	8	Transistor a effetto di campo, <i>Field effect transistor</i>	HETP	10	Altezza equivalente a un piatto teorico, <i>Height equivalent to a theoretical plate</i>
FFT	1	Trasformata di Fourier rapida (algoritmo), <i>Fast Fourier transform</i>			

HF	1	Acido fluoridrico, <i>Hydrofluoric acid</i>	IEF	12	Focalizzazione isoelettrica, <i>Isoelectric focusing</i>
HG	7	Generazione di idruri, <i>Hydride generation</i>	IMS	9	Spettrometria di mobilità ionica, <i>Ion mobility spectrometry</i>
HGAAS	6	Tecnica AAS di generazione di idruri, <i>Hydride generation-AAS</i>	INADEQUATE	5	Incredibile trasferimento a doppio quanto in abbondanza naturale, <i>Incredible natural-abundance double-quantum transfer</i>
HH XRF	8	XRF portatile, <i>Handheld XRF</i>	IPC	12	Cromatografia ad accoppiamento ionico, <i>Ion-pairing chromatography</i>
HID	11	Rivelatore a ionizzazione di elio, <i>Helium ionization detector</i>	IR	4	Infrarosso, <i>Infrared</i>
HILIC	12	Cromatografia liquida ad interazione idrofila, <i>Hydrophilic interaction liquid chromatography</i>	IRE	4	Elemento di riflessione interna, <i>Internal reflection element</i>
HMDE	13	Elettrodo a goccia pendente di mercurio, <i>Hanging mercury drop electrode</i>	IS	10	Standard interno, <i>Internal standard</i>
HMF	3	Idrossimetilfurfurolo, <i>Hydroxymethylfurfural</i>	ISC	3	<i>Intersystem crossing</i>
HMI	9	Introduzione in matrice (ICP-MS), <i>High matrix introduction</i>	ISE	13	Elettrodo ione-selettivo, <i>Ion-selective electrode</i>
HPAE	12	Scambio anionico ad alte prestazioni, <i>High performance anion exchange</i>	ISFET	13	Transistor ione-selettivo a effetto di campo, <i>Ion-selective field-effect transistor</i>
HPIMS™	9	Spettrometria di mobilità ionica ad elevate prestazioni, <i>High-performance ion mobility spectrometry</i>	ISO	5	<i>International Standards Organization</i>
HPLC	12	Cromatografia liquida a elevata prestazione, <i>High performance (or pressure) liquid chromatography</i>	ITC	14	Calorimetria isoterma di titolazione, <i>Isothermal titration calorimetry</i>
HR-CS	6	Sorgente continua ad alta risoluzione, <i>High resolution continuum source (AAS)</i>	ITO	13	Ossido di indio stagno, <i>Indium tin oxide</i>
HR-ICP-MS	9	ICP-MS ad alta risoluzione, <i>High-resolution ICP-MS</i>	IUPAC	3	<i>International Union of Pure and Applied Chemistry</i>
HRT	9	TOF ad alta risoluzione, <i>High-resolution TOF</i>	JEOL	9	<i>Japan Electron Optics Laboratory</i>
Hz	2	Hertz	KED	9	Discriminazione ad energia cinetica (ICP-MS), <i>Kinetic energy discrimination</i>
IC	12	Cromatografia ionica, <i>Ion chromatography</i>	LAESI	9	Ionizzazione elettrospray per ablazione laser, <i>Laser ablation electrospray ionization</i>
ICDD	8	<i>International Centre for Diffraction Data</i>	LANL	7	<i>Los Alamos National Laboratory</i>
ICP	7	Plasma accoppiato induttivamente, <i>Inductively coupled plasma</i>	LASS	7	<i>Laser spark spectroscopy</i>
ICP-SFMS	9	ICP-MS ad alta risoluzione, <i>ICP-sector field MS</i>	LC	10	Cromatografia liquida, <i>Liquid chromatography</i>
ICR	9	Risonanza ciclotronica, <i>Ion cyclotron resonance</i>	LD	8	Bassa densità, <i>Low density</i>
IDL	1	Limite di rivelazione strumentale, <i>Instrument detection limit</i>	LED	3	Diodo ad emissione luminosa, <i>Light emitting diode</i>
IDMS	11	Spettrometria di massa a diluizione isotopica, <i>Isotope dilution mass spectrometry</i>	LIBS	7	Spettroscopia di rottura indotta da laser, <i>Laser-induced breakdown spectroscopy</i>
IEC	7	Correzione inter-elemento, <i>Interelement correction</i>	LIMS	1	Sistema di gestione delle informazioni di laboratorio, <i>Laboratory information management system</i>
			LIPS	7	<i>Laser-induced plasma spectroscopy</i>
			LOD	1	Limite di rivelabilità, <i>Limit of detection</i>

LOQ	1	Limite di quantificazione, <i>Limit of quantitation</i>	NIR	4	Vicino infrarosso, <i>Near infrared</i>
L-PAD	7	<i>Large format programmable array detector</i>	NIRIM	4	Microscopio per imaging nel vicino IR e Raman, <i>NIR-Raman imaging microscope</i>
LPDA	3	Array di fotodiodi lineari, <i>Linear photodiode array</i>	NIST	1	<i>National Institute of Standards and Technology</i>
LVP	9	<i>Large volume parenteral</i>	nm	2	Nanometro
m	2	Metro	NMR	5	Risonanza magnetica nucleare, <i>Nuclear magnetic resonance</i>
MALDI	9	Ionizzazione per desorbimento laser assistito da matrice, <i>Matrix-assisted laser-desorption ionization</i>	NMRFAM	5	<i>National Magnetic Resonance Facility at Madison</i>
MAS	5	Rotazione ad angolo magico, <i>Magic angle spinning</i>	NOE	5	Effetto Overhauser nucleare, <i>Nuclear Overhauser effect</i>
MC	9	<i>Multiple collector</i>	NOESY	5	Spettroscopia dell'effetto Overhauser nucleare, <i>NOE-spectroscopy</i>
MCA	8	Analizzatore multicanale, <i>Multichannel analyzer</i>	NPD	11	Rivelatore azoto-fosforo <i>Nitrogen-phosphorous detector</i>
MCT	4	Tellururo di cadmio e mercurio, <i>Mercury cadmium telluride</i>	NRC	11	<i>Nuclear Regulatory Commission</i>
MDL	1	Limite di rivelazione del metodo, <i>Method detection limit</i>	NRCC	1	<i>National Research Council of Canada</i>
MDSC	14	DSC modulato, <i>Modulated DSC®</i>	NTP	12	Temperatura e pressione normali, <i>Normal temperature and pressure</i>
MEK	6	Metiletilchetone, <i>Methyl ethyl ketone</i>	ODS	12	Gruppo ottadecil silile <i>Octadecylsilyl</i>
MEKC	12	Cromatografia micellare elettrocinetica, <i>Micellar electrokinetic chromatography</i>	OES	7	Spettroscopia di emissione ottica, <i>Optical emission spectroscopy</i>
MIBK	1	Metilisobutilchetone, <i>Methyl isobutyl ketone</i>	OTE	13	Elettrodo otticamente trasparente, <i>Optically transparent electrode</i>
MIP	7	Plasma indotto a microonde, <i>Microwave-induced plasma</i>	PAD	12	Rilevamento amperometrico pulsato (LC), <i>Pulsed amperometric detection</i>
MIT	7	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>	PAGE	12	Elettroforesi su gel di poliacrilammide, <i>Polyacrylamide gel electrophoresis</i>
MOS	7	Semiconduttore di ossido metallico, <i>Metal-oxide-semiconductor</i>	PAHs	1	<i>Polynuclear aromatic hydrocarbons</i>
MP	7	Plasma a microonde (sorgente), <i>Microwave plasma (source)</i>	PBDE	9	Bifenili polibromurati ed eteri di difenile, <i>Polybrominated diphenyl ether</i>
MRI	5	Risonanza magnetica per immagini, <i>Magnetic resonance imaging</i>	PCB	1	Policlorobifenile, <i>Polychlorinated biphenyl</i>
MS	9	Spettrometria di massa, <i>Mass spectrometry</i>	PCDE	9	<i>Polychlorinated diphenyl ether</i>
MSA	2	Metodo delle addizioni standard, <i>Method of standard additions</i>	PCr	5	Fosfocreatina, <i>Phosphocreatine</i>
MW	9	Peso molecolare, <i>Molecular weight</i>	PDA	3	Array di fotodiodi, <i>Photodiode array</i>
NASA	7	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>	PDE	9	Esposizione massima giornaliera, <i>Permissible daily exposure</i>
NCE	13	Elettrodo a calomelano normale, <i>Normal calomel electrode</i>	PDMS	11	Polidimetilsilossano, <i>Polydimethylsiloxane</i>
NICI	9	Ionizzazione chimica a ioni negativi, <i>Negative ion chemical ionization</i>	PEEK	12	Polietere etero chetone, <i>Polyether ether ketone</i>
NIEHS	5	<i>National Institute of Environmental Health and Safety</i>	PEG	5	Glicole polietilenico, <i>Polyethylene glycol</i>

PET	14	Polietilene tereftalato, <i>Polyethylene terephthalate</i>	RoHS	7	Restrizioni relative all'uso di sostanze pericolose, <i>Restriction of the use of hazardous substances</i>
PFTBA	9	Perfluorotributilammina, <i>Perfluorotributylamine</i>	RP	12	Fase inversa, <i>Reverse phase</i>
PID	11	Rivelatore a fotoionizzazione, <i>Photoionization detector</i>	RRF	10	Fattore di risposta relativo, <i>Relative response factor</i>
PIXE	8	Emissione di raggi X indotta da particelle, <i>Particle-induced X-ray emission</i>	RRT	10	Tempo di ritenzione relativo, <i>Relative retention time</i>
PLOT	11	Tubolare aperto a strato poroso, <i>Porous layer open tubular</i>	RSD	1	(%) Deviazione standard relativa, <i>Relative standard deviation</i>
PLS	4	Minimi quadrati parziali, <i>Partial least squares</i>	RU	7	Raies ultimes
PMT	3	Tubo fotomoltiplicatore, <i>Photomultiplier tube</i>	SBSE	1	Estrazione mediante ancoretta magnetica, <i>Stirbar sorptive extraction</i>
POP	11	Inquinante organico persistente, <i>Persistent organic pollutant</i>	SBW	2	Larghezza di banda spettrale, <i>Spectral bandwidth</i>
ppb, ppt, ppq	1	Parti per bilione, trilione, quadrilione, <i>Parts per billion (109), trillion (1012), quadrillion (1015)</i>	SC	8	Contatore a scintillazione, <i>Scintillation counter</i>
PTFE	4	Politetrafluoroetilene, <i>Polytetrafluoroethylene</i>	SCD	11	Rivelatore a chemiluminescenza di zolfo, <i>Sulfur chemiluminescence detector</i>
PVC	14	Polivinilcloruro, <i>Polyvinyl chloride</i>	SCE	13	Elettrodo a calomelano saturo, <i>Saturated calomel electrode</i>
Q	9	Quadrupolo analizzatore di massa, <i>Quadrupole mass analyzer</i>	SCF	12	Fluido supercritico, <i>Supercritical fluid</i>
QC	3	Controllo qualità, <i>Quality control</i>	SDD	8	Rivelatore a deriva di silicio, <i>Silicon drift detector</i>
QD	12	Rivelatore di carica (IE-LC), <i>Charge detector</i>	SDS	12	Sodio dodecilsolfato, <i>Sodium dodecyl sulfate</i>
QID	9	Deflettore ionico a quadrupolo, <i>Quadrupole ion deflector</i>	SEC	12	Cromatografia a esclusione dimensionale, <i>Size exclusion chromatography</i>
QIT	9	Trappola ionica quadrupolare, <i>Quadrupole ion trap</i>	SEC	13	Spettroelettrochimica, <i>Spectroelectrochemistry</i>
QqQ	9	Analizzatore di massa a triplo quadrupolo, <i>Triple quadrupole mass analyzer</i>	SEM	9	Elettromoltiplicatore a elettroni secondari, <i>Secondary electron multiplier</i>
QQQ	9	Analizzatore di massa a triplo quadrupolo, <i>Triple quadrupole mass analyzer</i>	SERS	4	Spettroscopia Raman intensificata per effetto di superficie, <i>Surface-enhanced Raman spectroscopy</i>
QTH	4	Quarzo tungsteno-alogeno (lampada), <i>Quartz tungsten halogen (lamp)</i>	SFC	12	Cromatografia a fluido supercritico, <i>Supercritical fluid chromatography</i>
QuEChERS	1	<i>Quick, easy, cheap, effective, safe</i>	SFE	1	Estrazione a fluido supercritico, <i>Supercritical fluid extraction</i>
RE	2	Errore relativo, <i>Relative error</i>	SHE	13	Elettrodo standard a idrogeno, <i>Standard hydrogen electrode</i>
REE	9	Elementi delle terre rare, <i>Rare earth elements</i>	SI	1	<i>Système International d'Unités</i>
REF	13	Elettrodo di riferimento, <i>Reference electrode</i>	SIM	11	Monitoraggio di ioni selezionati, <i>Selected ion monitoring</i>
RF	5	Radiofrequenza, <i>Radiofrequency</i>	S/N	1	Rapporto segnale/rumore, <i>Signal to noise (ratio)</i>
RGAs	9	Analizzatore di gas residuo, <i>Residual gas analyzer</i>	SOP	1	Procedure operative standard, <i>Standard operating procedures</i>
RI	11	Indice di ritenzione (in GC), <i>Retention index</i>	SPADNS	5	Si veda la Tabella 3.7
RI	12	Indice di rifrazione, <i>Refractive index</i>	SPE	1	Estrazione in fase solida, <i>Solid phase extraction</i>
RNA	9	Acido ribonucleico, <i>Ribonucleic acid</i>			

SP-FPD	11	Rivelatore fotometrico a fiamma zolfo-fosforo, <i>Sulfur-phosphorous flame photometric detector</i>	TT	14	Titolazione termometrica, <i>Thermometric titration</i>
SPME	1	Microestrazione in fase solida, <i>Solid phase microextraction</i>	TXRF	8	XRF in riflettanza totale, <i>Total reflection XRF</i>
SRM	9	Materiale di riferimento standard, <i>Standard reference material</i>	UHPLC	10	Cromatografia liquida a ultra-high performance, <i>Ultra-high-performance liquid chromatography</i>
STA	14	Analisi termica simultanea, <i>Simultaneous thermal analysis</i>	µm	2	Micrometro
SWIFT	5	Imaging con scansione di frequenza e trasformata di Fourier, <i>Sweep imaging with Fourier transform</i>	UPC2	12	Ultra performance convergence chromatography
TBAH	13	Idrossido di tetrabutilammonio, <i>Tetrabutylammonium hydroxide</i>	USN	7	Nebulizzatore a ultrasuoni, <i>Ultrasonic nebulizer</i>
TCD	11	Detector di conducibilità termica, <i>Thermal conductivity detector</i>	USP	9	United States Pharmacopeia
TDS	13	Solidi disciolti totali, <i>Total dissolved solids</i>	UV	3	Ultravioletto, <i>Ultraviolet</i>
TEAP	13	Perclorato di tetraetilammonio, <i>Tetraethylammonium perchlorate</i>	VIS	3	Visibile, <i>Visible</i>
TFME	13	Elettrodo di mercurio a film sottile, <i>Thin film mercury electrode</i>	WD	8	Dispersione di lunghezza d'onda (con XRF), <i>Wavelength dispersive XRF</i>
TGA	14	Analisi termogravimetrica, <i>Thermogravimetric analysis</i>	WDXRF	8	XRF a dispersione di lunghezza d'onda, <i>Wavelength-dispersive XRF</i>
THF	1	Tetraidrofurano, <i>Tetrahydrofuran</i>	WE	13	Elettrodo di lavoro, <i>Working electrode</i>
TIC	11	Cromatogramma ionico totale, <i>Total ion chromatogram</i>	WEEE	7	Waste electrical and electronic equipment
TISAB	13	Total ionic strength adjusting buffer	XIC	11	Cromatogramma di ioni estratti, <i>Extracted ion chromatogram</i>
TLC	12	Cromatografia su strato sottile, <i>Thin layer chromatography</i>	XRA	8	Assorbimento di raggi X, <i>X-ray absorption</i>
TMAH	15	Idrossido di tetrametilammonio, <i>Tetramethylammonium hydroxide</i>	XRD	8	Diffrazione ai raggi X, <i>X-ray diffraction</i>
TMS	5	Tetrametilsilano, <i>Tetramethylsilane</i>	XRF	8	Fluorescenza a raggi X, <i>X-ray fluorescence</i>
TNT	9	Trinitrotoluene, <i>Trinitrotoluene</i>	XRT	8	Trasmissione di raggi X, <i>X-ray transmission</i>
TOF	9	Tempo di volo (in spettrometria di massa), <i>Time of flight</i>	YAG	3	Granato di alluminio e ittrio, <i>yttrium aluminum garnet</i>
			ZPD	4	Differenza nulla di cammino, <i>Zero path difference</i>
			% RE	2	Errore percentuale relativo, <i>Percent relative error</i>

