

A04



Vai al contenuto multimediale

Analisi mineralogiche in ambito forense

a cura di

Mariano Mercurio, Alessio Langella
Rosa Maria Di Maggio, Piergiulio Cappelletti

Prefazioni di

Luciano Garofano, Francesco Graziano
Sandro Conticelli

Contributi di

Pasquale Acquafredda, Ilenia Arienzo
Giuseppina Balassone, Donatella Barca
Fabio Bellatreccia, David L. Bish
Piergiulio Cappelletti, Sandro Conticelli
Ciro Cucciniello, Massimo D'Antonio
Roberto de Gennaro, Rosa Maria Di Maggio
Valeria Di Renzo, Lorenzo Fedele
Luciano Garofano, Giacomo Diego Gatta
Chiara Germinario, Francesco Graziano
Sossio Fabio Graziano, Celestino Grifa
Francesco Izzo, Mauro Francesco La Russa
Alessio Langella, Rocco Laviano
Luciana Mantovani, Mariano Mercurio
Nicola Mondillo, Vincenzo Morra
Paola Petrosino, Silvestro Antonio Ruffolo
Mario Tribaudino





Aracne editrice

www.aracneeditrice.it
info@aracneeditrice.it

Copyright © MMXIX
Giacchino Onorati editore S.r.l. — unipersonale

www.giacchinoonoratieditore.it
info@giacchinoonoratieditore.it

via Vittorio Veneto, 20
00020 Canterano (RM)
(06) 45551463

ISBN 978-88-255-2235-8

*I diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica,
di riproduzione e di adattamento anche parziale,
con qualsiasi mezzo, sono riservati per tutti i Paesi.*

*Non sono assolutamente consentite le fotocopie
senza il permesso scritto dell'Editore.*

I edizione: giugno 2019

*A tutti gli operatori di giustizia che credono
che la morale e l'etica siano più di un regolamento*

Indice

- 11 Prefazione
Luciano Garofano
- 15 Prefazione
Francesco Graziano
- 17 Prefazione
Sandro Conticelli
- 19 Introduzione
Mariano Mercurio, Alessio Langella, Rosa Maria Di Maggio, Piergiulio Cappelletti
- 23 Stereomicroscopia
Rosa Maria Di Maggio
1. Introduzione, 23 – 2. Strumentazione, 24 – 2.1. *Ingrandimento*, 26 – 2.2. *Illuminazione*, 27 – 2.3. *Videofotografia ed analisi di immagine*, 27 – 3. Applicazioni della stereomicroscopia nelle scienze forensi, 28 – 4. Applicazioni della stereomicroscopia in geologia forense, 29 – 4.1. *Pedologia forense*, 30 – 4.2. *Altri materiali geologici*, 38 – Riferimenti bibliografici, 42.
- 43 Microscopia ottica
Ciro Cucciniello, Lorenzo Fedele, Vincenzo Morra
1. Introduzione, 43 – 1.1. *I minerali e le rocce*, 44 – 2. Strumentazione, 49 – 3. Preparazione del campione, 52 – 4. Principi di ottica mineralogica ed esempi di applicazione in ambito forense, 53 – 4.1. *La luce naturale e la sua propagazione*, 53 – 4.2. *Il comportamento ottico dei minerali e la doppia rifrazione*, 55 – 4.3. *Indicatrici ottiche e segno ottico*, 56 – 4.4. *Le caratteristiche ottiche diagnostiche per il riconoscimento dei minerali in sezione sottile*, 59 – 4.5. *Esempi di applicazioni in ambito forense*, 76 – Riferimenti bibliografici, 81 – Letture consigliate, 81.

83 Fluorescenza di raggi X

Pasquale Acquafredda, Rocco Laviano

1. Introduzione, 83 – 2. Processi che possono generare i raggi X, 84 – 2.1. *Produzione con convenzionali tubi a raggi X*, 85 – 3. Spettro dei raggi X, 87 – 3.1. *La radiazione continua*, 87 – 3.2. *Le radiazioni caratteristiche*, 88 – 4. Assorbimento dei raggi X, 93 – 5. Rivelazione e misura dei raggi X, 94 – 5.1. *Metodo fotografico*, 94 – 5.2. *Rivelazione di raggi X per dispersione in energia (ED = energy dispersive)*, 95 – 5.3. *Rivelazione di raggi X per dispersione in lunghezza d'onda (WD = wavelength dispersive)*, 97 – 6. Analisi qualitativa mediante raggi X, 103 – 6.1. *Analisi qualitativa ED*, 104 – 6.2. *Analisi qualitativa WD*, 105 – 7. Analisi quantitativa mediante raggi X, 106 – 7.1. *Analisi quantitativa in dispersione di energia*, 106 – 7.2. *Analisi quantitativa in dispersione di lunghezza d'onda*, 107 – 8. Problemi analitici che possono causare errori nelle determinazioni FRX, 111 – 8.1. *Problemi analitici legati alla strumentazione*, 111 – 8.2. *Problemi analitici legati al tipo di campione*, 113 – 8.3. *Problemi analitici legati all'operatore*, 117 – 9. Metodiche FRX a seconda del tipo di campione da analizzare, 117 – 9.1. *Come tenere conto dello stato fisico del campione*, 118 – 9.2. *Come tenere conto della variabilità nella composizione chimica del campione (correzione degli effetti di matrice)*, 119 – 10. Uso di strumentazioni portatili, 125 – 11. Esempi di uso della FRX in ambito forense, 126 – Riferimenti bibliografici, 130.

133 La diffrattometria a RX su polveri

Piergiulio Cappelletti, Sossio Fabio Graziano, David L. Bish

1. Introduzione, 133 – 2. Lo spettro continuo (radiazione bianca), 135 – 3. Lo spettro caratteristico (radiazione a righe), 137 – 4. Filtri, 139 – 5. Produzione dei raggi X, 140 – 6. La diffrazione su polveri, 141 – 6.1. *La legge di Bragg*, 142 – 6.2. *Il diffrattometro*, 143 – 6.3. *Preparazione del campione*, 144 – 7. Identificazione delle fasi mediante la diffrazione di raggi X, 150 – 7.1. *Il metodo Hanawalt*, 151 – 8. L'analisi quantitativa, 153 – 8.1. *Metodo dello standard interno*, 153 – 8.2. *Metodo RIR con misura del rapporto $\frac{I}{I_c}$* , 155 – 8.3. *Full-pattern fitting*, 156 – 9. Applicazioni della diffrattometria ai raggi X, 159 – 9.1. *Valutazione della presenza di minerali degli amianti in campioni massivi*, 161 – 9.2. *Individuazione della provenienza geologica di materiali geoarcheologici*, 162 – Riferimenti bibliografici, 165.

169 Microscopia elettronica a scansione

Paola Petrosino, Roberto de Gennaro, Nicola Mondillo

1. La microscopia elettronica, 169 – 2. I segnali del SEM, 172 – 2.1. *Elettroni secondari*, 173 – 2.2. *Elettroni di backscattering*, 174 – 2.3. *Raggi X caratteristici*, 175 – 2.4. *Altri segnali: elettroni di Auger, catodoluminescenza, elettroni trasmessi, corrente del campione*, 176 – 3. Come è fatto un SEM, 177 – 3.1. *La sorgente di elettroni e il fascio elettronico*, 177 – 3.2. *L'immagine*, 182 – 3.3. *Il sistema per il vuoto*, 184 – 4. Microanalisi elettronica, 185 – 4.1. *Microanalisi EDS*, 186 – 5. Preparazione dei campioni, 199 – 6. Applicazioni del SEM-EDS all'ambito forense, 202 – 6.1. *Analisi dei suoli*, 203 – 6.2. *Analisi dei residui di sparo*, 205 – 6.3. *Analisi dei frammenti di vetro*, 206 – 6.4. *Caratterizzazione delle vernici delle automobili*, 208 – 6.5. *Analisi di fibre di amianto aerodisperse*, 208 – 7. La microscopia elettronica a scansione automatizzata – il QEMSCAN[®], 209 – 7.1. *Descrizione dello strumento e del sistema operativo*, 210 – 7.2. *Identificazione delle specie mineralogiche e costruzione del database SIP (Species Identification Protocol)*, 211 – 7.3. *Applicazioni del QEMSCAN[®] all'ambito forense* – 213 – Riferimenti bibliografici, 215.

219 Spettroscopia nell'infrarosso

Giuseppina Balassone, Fabio Bellatreccia

1. Introduzione, 219 – 2. Principi teorici del metodo, 221 – 2.1. *La radiazione infrarossa (IR)*, 222 – 2.2. *L'assorbimento della radiazione IR*, 224 – 2.3. *Il modello dell'oscillatore armonico*, 225 – 2.4. *Momento di transizione e regola di selezione generale per la spettroscopia IR*, 226 – 2.5. *I modi di vibrazione normali delle molecole*, 227 – 2.6. *Trasmittanza, assorbanza e legge di Beer–Lambert*, 230 – 2.7. *Lo spettro IR: posizione, intensità e forma delle bande di assorbimento*, 233 – 2.8. *Caratteristiche salienti dello spettro IR e sua interpretazione*, 235 – 3. Strumenti e metodologie sperimentali, 237 – 3.1. *Analisi in riflettanza*, 242 – 3.2. *Analisi quantitative*, 244 – 3.3. *Microscopia FTIR e imaging*, 245 – 4. Preparazione del campione, 247 – 4.1. *Polveri*, 248 – 4.2. *Cristalli singoli, lamine bilucidate (doubly polished slabs)*, 249 – 5. Applicazioni, 250 – 5.1. *Suoli*, 250 – 5.2. *Altri materiali geologici*, 253 – Riferimenti bibliografici, 254.

261 Spettroscopia Raman

Giacomo Diego Gatta, Luciana Mantovani, Mario Tribaudino

1. La spettroscopia Raman: principi di base, 261 – 1.1. *Introduzione*, 261 – 1.2. *L'effetto Raman*, 262 – 1.3. *Lo spettro Raman*, 266 – 1.4. *Lo spettrometro Raman: dal passato al presente*, 268 – 1.5. *Spettroscopie Raman non convenzionali*, 272 – 2. Applicazioni della spettroscopia Raman: i materiali gemmologici, 273 – 2.1. *Spettroscopia Raman in gemmologia: vantaggi e svantaggi*, 273 – 2.2. *Identificazione delle gemme attraverso la spettroscopia Raman*, 274 – 2.3. *Problematiche analitiche*, 280 – 2.4. *Spettrometro portatile o da banco?*, 283 – 3. Altre applicazioni della spettroscopia Raman: inchiostri e pigmenti, esplosivi, minerali pericolosi per la salute dell'uomo, 284 – 3.1. *Inchiostri e pigmenti*, 284 – 3.2. *Esplosivi*, 286 – 3.3. *Minerali pericolosi per la salute dell'uomo: asbesti e silice cristallina*, 288 – 3.4. *Considerazioni conclusive*, 291 – Riferimenti bibliografici, 292.

297 ICP–MS

Donatella Barca, Mauro Francesco La Russa, Silvestro Antonio Ruffolo

1. Introduzione, 297 – 2. Spettrometria di Massa al Plasma (ICP–MS), 299 – 2.1. *Steps analitici*, 300 – 2.2. *Problematica delle interferenze in ICP–MS*, 303 – 2.3. *Laser Ablation accoppiata ad uno Spettrometro di Massa al Plasma LA–ICP–MS*, 306 – 3. Preparazione del campione, 308 – 3.1. *ICP–MS in soluzione*, 308 – 3.2. *LA–ICP–MS*, 314 – 4. Applicazioni in ambito forense, 315 – 4.1. *Analisi forense dei vetri*, 316 – 4.2. *Analisi forense dei suoli*, 317 – 4.3. *Analisi forense delle pallottole*, 319 – Riferimenti bibliografici, 320.

323 Tecniche di analisi isotopica

Massimo D'Antonio, Ilenia Arienzo, Valeria Di Renzo

1. Introduzione, 323 – 2. Preparazione del campione, 327 – 2.1. *Tecniche di preparazione di campioni inorganici*, 329 – 2.2. *Tecniche di preparazione di campioni organici*, 332 – 2.3. *Separazione cromatografica*, 339 – 3. Strumentazione, 342 – 3.1. *Spettrometria di massa combinata con plasma ad accoppiamento induttivo*, 343 – 3.2. *Spettrometria di massa a sorgente solida*, 347 – 3.3. *Spettrometria di massa a sorgente gassosa*, 351 – 3.4. *Spettrometria alfa e gamma*, 355 – 4. Applicazioni, 355 – 4.1. *Traffico illecito di materiali illegali o pericolosi*, 356 – 4.2. *Identificazione di resti umani*, 359 – 4.3. *Posizionamento di un sospetto sulla scena del crimine*, 360 – 4.4. *Crimini ambientali (dispersione di contaminanti)*, 361 – 4.5. *Adulterazione di cibi, bevande e farmaci*, 361 – 4.6. *Controllo anti-doping in attività sportive*, 362 – 5. Conclusione, 362 – Lista degli acronimi, 363 – Riferimenti bibliografici, 364.

371 Metodi termici

Mariano Mercurio, Francesco Izzo, Alessio Langella

1. Introduzione, 371 – 2. Principi operativi, 374 – 2.1. *L'analisi termogravimetrica (TGA)*, 374 – 2.2. *L'analisi termogravimetrica derivativa (DTG)*, 377 – 2.3. *Le sorgenti di errore nella TGA*, 378 – 2.4. *L'analisi termica differenziale (DTA)*, 381 – 2.5. *La calorimetria a scansione differenziale (DSC)*, 384 – 2.6. *Analizzatore termico simultaneo accoppiato al sistema di rilevazione dei gas sviluppati (STA/EGA)*, 386 – 3. Preparazione dei campioni e procedure di analisi, 390 – 4. Applicazioni in ambito forense, 392 – 4.1. *Comportamento termico di singole fasi mineralogiche*, 395 – 4.2. *Comportamento termico di miscele polifasiche*, 419 – Riferimenti bibliografici, 425.

429 Analisi d'immagine

Chiara Germinario, Celestino Grifa, Rosa Maria Di Maggio

1. Introduzione. 429 – 2. Le immagini digitali e i sistemi di acquisizione, 430 – 3. Elaborazioni delle immagini, 431 – 4. Analisi e misure delle immagini, 434 – 5. Campi di applicazione dell'analisi d'immagine nella geologia forense, 441 – 5.1. *Applicazioni su immagini macroscopiche*, 443 – 5.2. *Applicazioni su immagini acquisite in stereomicroscopia*, 444 – 5.3. *Applicazioni su immagini acquisite in microscopia ottica*, 445 – 5.4. *Applicazioni su immagini acquisite in microscopia elettronica a scansione*, 447 – Riferimenti bibliografici, 451.

453 Autori

Prefazione

LUCIANO GAROFANO*

Dobbiamo a Edmond Locard (1877–1966), fondatore del primo laboratorio di criminalistica e padre riconosciuto e indiscusso delle moderne scienze forensi, una visione antesignana della scena del crimine e la formulazione del suo pioneristico principio di interscambio, riassunto nella frase «Ogni contatto lascia una traccia».

Locard fu infatti il primo scienziato che, nel mondo, intuì che la scena del crimine aveva bisogno di una visione molto più ampia di quanto fosse stato considerato fino a quel momento, individuandola come un vero e proprio insieme di macro e micro aree che a seguito della consumazione di un reato e grazie ad indagini scrupolose ed approfondite, permette di identificare tracce visibili e non visibili dei suoi protagonisti, ovvero i luoghi, i mezzi, le sostanze, che legano in maniera univoca la vittima e l'autore.

Oggi, lo sappiamo bene, di tracce di un reato, soprattutto di quelli più violenti come i sequestri di persona e gli omicidi, ce ne sono davvero una infinità, grazie anche agli strumenti che negli ultimi anni ci ha messo a disposizione la ricerca scientifica ed il progresso tecnologico e, attraverso i quali, la strabiliante intuizione di Locard è diventata una reale ed irrinunciabile possibilità investigativa, sempre più decisiva per la risoluzione di un caso delittuoso.

Pensandoci bene, però, anche in virtù del grande battage mediatico che da qualche anno riguarda il crimine, allorché si parla di tracce, siamo normalmente abituati a sentir parlare di impronte digitali, di bossoli e proiettili, di sangue e DNA, di cellulari, di immagini video e quant'altro.

* Generale dell'Arma dei Carabinieri.

Molto meno o quasi raramente si parla invece di tracce di terriccio, di minerali e di tutto ciò che rientra nella geoscienza forense, altro termine purtroppo poco noto nel panorama nazionale.

Può sembrare un paradosso ma quando circa 40 anni fa ho iniziato la mia carriera nel RIS, beh, non ci crederete, ma uno dei miei primi casi importanti, riguardava proprio un tipico reperto da indagini mineralogiche e petrografiche.

Si trattava dei campioni di sabbia rinvenuti nei risvolti dei pantaloni indossati dal presidente Aldo Moro, al tempo del sequestro e del successivo omicidio.

Allora ero un giovanissimo biologo, sottotenente dei carabinieri in servizio al CCIS (Centro Carabinieri Investigazioni Scientifiche) di Roma — perché allora esisteva un solo laboratorio centrale parzialmente diverso anche nel nome dagli attuali quattro RIS — e rimasi completamente catturato e ammaliato da tutto ciò che il prof. Gianni Lombardi, consulente della Procura di Roma e primo geologo forense italiano, mi spiegò circa le analisi che avrebbe fatto per cercare di individuare la zona di litorale in cui il presidente Moro era stato detenuto e di lì consentire agli inquirenti di localizzare il covo dei brigatisti.

Da quel momento in poi, tutte le scienze forensi hanno registrato miglioramenti e possibilità analitiche impensabili — basti pensare alle analisi del DNA da tracce biologiche — ma nonostante la geoscienza forense avesse esordito con un caso così importante, sta qui il paradosso, questa disciplina, almeno in Italia, è rimasta confinata per anni e tuttora è preda di un minore interesse scientifico e, dunque, di una limitata applicazione in ambito investigativo, fatta eccezione per pochissimi casi e/o per i più recenti, come l'omicidio di Yara Gambirasio, tanto per citare il più noto.

C'è, insomma, un generale ritardo culturale in tutta la filiera che riguarda le attività di indagine, a partire dall'attenzione che deve porsi alle tracce di interesse mineralogico e petrografico sulla scena del crimine, fino alla loro corretta raccolta, conservazione e successiva analisi.

Dunque, un testo come questo, ci voleva proprio!

Dobbiamo essere grati, pertanto, a tutti gli Autori, non soltanto per l'interesse scientifico che si sprigiona dalle pagine di quest'opera ma anche per tutti gli spunti investigativi, molti dei quali nuovi e mai divulgati, che si possono trarre dallo studio delle tecniche strumentali che in que-

sto saggio vengono descritte con una chiarezza ed una accuratezza non comuni, tanto da renderlo fruibile anche per non addetti ai lavori. E poi, il pregio di essere finalmente un testo di riferimento, italiano, per tutti coloro, siano essi studenti, investigatori, avvocati, magistrati, esperti, o semplici appassionati, che vogliono trarre da questo libro spunti, idee, conoscenze, competenze che oggi più che mai si rendono necessarie per garantire indagini complete ed affidabili e assicurare ai cittadini quella verità dalla quale spesso ci allontaniamo per superficialità, inesperienza, impreparazione degli operatori di giustizia.

Prefazione

FRANCESCO GRAZIANO*

Lo sviluppo scientifico e tecnologico — ormai vorticoso — della nostra società impone, in maniera sempre più evidente, una progressiva evoluzione anche delle varie forme di tutela giurisdizionale contemplate dal nostro ordinamento giuridico.

In tale ottica, il processo — penale o civile che esso sia — vede sempre più spesso i suoi protagonisti (giudice, parti, difensori e pubblico ministero) impegnati in un continuo confronto con branche del sapere che fuoriescono dalla *scientia iuris* e si addentrano assai di frequente nel territorio delle scienze che si occupano dello studio della realtà secondo modelli di tipo galileiano e, dunque, fondati sulla matematica, sulla fisica e sulla chimica.

Il confronto dei protagonisti del processo con questi saperi *altri* determina la necessità che, all'interno dei meccanismi di tutela giurisdizionale, trovi sempre più spazio la figura del consulente tecnico che, di quei saperi *altri*, è portatore e che può, dunque, fornire un contributo — sempre più spesso risolvete — alla comprensione dei fatti che hanno dato origine alla vicenda giudiziaria al fine di permettere, da parte degli operatori del diritto, la loro qualificazione in termini giuridici.

Non è casuale, del resto, l'attenzione, sempre crescente, che lo stesso legislatore sta manifestando con riguardo all'istituto della consulenza tecnica, giungendo a prevederne, attraverso lo strumento del cd. accertamento tecnico preventivo, la possibilità di un espletamento antecedente all'instaurazione della controversia, con finalità conciliative di quest'ulti-

* Magistrato del Tribunale di Napoli (Sezione Ottava Civile).

ma e rendendolo addirittura obbligatorio — in termini di condizione di procedibilità — con riguardo a materie caratterizzate da elevato grado di influenza da parte di discipline tecnico — scientifiche diverse dal diritto.

È, dunque, con estremo favore che deve essere salutata la pubblicazione di questo volume che — per la prima volta a memoria di chi scrive — si occupa di fornire un panorama, dettagliato e completo, in materia di analisi mineralogica forense, utilizzando un'impostazione valevole a permettere la comprensione dei vari argomenti oggetto di trattazione anche agli operatori del diritto e, dunque, a soggetti spesso radicalmente privi di un bagaglio di conoscenze fondato sullo studio sistematico delle cd. scienze esatte.

La straordinaria perspicacia degli autori ha, infatti, condotto gli stessi a corredare i vari capitoli — ciascuno destinato alla trattazione di una singola tipologia di indagine finalizzata all'analisi dei minerali — con appositi paragrafi nei quali vengono illustrate, con linguaggio piano, agevolmente comprensibile anche da parte dei non addetti ai lavori, le possibili applicazioni al mondo forense della metodica in esame, con esemplificazioni pratiche che spaziano dal settore delle investigazioni penali a quello del contenzioso civile, non solo in ambito di illecito aquiliano (si pensi all'analisi delle vernici delle automobili per verificare l'ipotesi del coinvolgimento in un sinistro stradale), ma anche in materia di responsabilità contrattuale (si pensi alle controversie in tema di materiali utilizzati dall'appaltatore incaricato della costruzione di un'opera).

Il rigore del linguaggio scientifico, dunque, si accompagna, in quest'opera, ad un momento in cui tale linguaggio assume connotati quasi divulgativi, facilmente suscettibili — come tali — di essere fruiti da parte degli operatori del diritto (magistrati ed avvocati) ai quali è, così, permesso di comprendere le straordinarie ed innumerevoli implicazioni pratiche dell'analisi mineralogica ai casi che, di volta in volta, possono venire in rilievo nel multiforme panorama offerto dal quotidiano esercizio tanto della professione forense quanto delle funzioni giudiziarie (giudicanti o requirenti che esse siano).

La disamina ed approfondimento dei vari argomenti che si dipanano attraverso i capitoli in cui è suddiviso il volume costituiscono, infine, un piacere che non va sottratto alle capacità dell'attento lettore.

Prefazione

SANDRO CONTICELLI*

Acqua, terra e aria sono gli elementi base a cui tutti quanti pensiamo quando cerchiamo di focalizzare gli stati della materia: liquido, solido e gassoso. Il Pianeta Terra li contiene tutti e tre con le porzioni solide più interne, quella liquida, l'idrosfera, intermedia, e quella gassosa, l'atmosfera più esterna.

Tutti e tre i mezzi sono indispensabili per la vita sul pianeta, ma non vi è dubbio che il mezzo solido per sua complessità intrinseca rappresenti il sistema maggiormente studiato dal *geologo*, sia perché da esso si sono separate l'idrosfera e l'astenosfera sia perché la sua complessità e differenziazione, acquisite nei 4,54 miliardi di anni di storia del pianeta, hanno reso la sua *crosta* esterna fortemente variegata ed eterogenea.

Le *Scienze forensi* trovano nella *Geologia* uno strumento culturale e scientifico importante proprio in virtù della forte differenziazione acquisita dalla crosta terrestre così da utilizzare le conoscenze geologiche come un'impronta digitale e le metodologie analitiche delle *Geoscienze* come la lente d'ingrandimento di un investigatore.

Da una lente d'ingrandimento, a cavallo del XVI e XVII secolo, Haus e Zacharias Janssen realizzarono il primo microscopio, successivamente perfezionato da Galileo Galilei e Robert Hooke. Per l'epoca il microscopio ottico era uno strumento "altamente tecnologico" così da imprimere, agli albori delle *Geoscienze* moderne, una svolta nella ricerca del naturalista, permettendo al *geologo* la decodificazione dei materiali naturali e in particolare dei minerali e delle rocce nelle quali, come fossero una stele di

* Ordinario di Geochimica, Mineralogia, Petrologia, Vulcanologia, Georisorse e Applicazioni, Università degli Studi di Firenze e presidente Società Geologica Italiana.

Rosetta, era iscritta la storia del pianeta e i codici per decifrarne la sua evoluzione.

La ricerca *geologica* moderna non ha cessato di utilizzare il microscopio ottico, oggi a luce polarizzata, ma al suo fianco sono diventati indispensabili per lo studio delle rocce, e dei geomateriali in genere, i ben più sofisticati microscopi elettronici a scansione (SEM) e trasmissione (TEM). Lo sviluppo della spettroscopia a lunghezze d'onda fuori dal campo dello spettro visibile ha permesso, inoltre, lo sviluppo di metodiche analitiche di riconoscimento mineralogico più sofisticate oltre a garantire una maggiore rapidità e precisione nella definizione della composizione chimica di minerali, vetri e rocce. Ulteriori sviluppi scientifici e tecnologici hanno messo a disposizione degli scienziati che studiano la Terra e i pianeti del sistema solare, metodologie e strumentazioni che permettono l'analisi chimica delle ultratracce, anche su microscopiche quantità di campione (ICP ottici, ICP-MS, ecc.), contenute in minerali e rocce, fino all'analisi della composizione isotopica (TIMS, HR *multicollector* ICP-MS) dei geomateriali.

Nonostante ciò il *geologo* moderno per studiare i processi e i materiali che interessano e costituiscono il pianeta Terra ha ancora la necessità di analizzare il contesto geologico strutturale e geomorfologico, così come Sherlock Holmes nell'immaginario di Sir Arthur Conan Doyle faceva con la "scena del crimine", e adopera, come fossero una lente di ingrandimento, tutte le strumentazioni sia di analisi di immagine che spettroscopiche a disposizione.

Questo libro delinea un panorama particolare e completo delle indagini e metodologie di analisi moderne che permettono al *geologo* di fornire gli elementi utili per rivelare l'originalità di un prodotto alimentare, industriale, o addirittura artistico, oltreché riconoscere, nel campo della criminologia, l'area geografica di provenienza di persone e/o animali dall'analisi dei tessuti biologici nei quali è rimasta impressa la firma geologica di provenienza proprio come fosse una vera e propria impronta digitale.

In conclusione lasciatemi parlare di *Geologia Forense* come di una vera e propria branca delle *Geoscienze* a cavallo con le, e parte delle, *Scienze Forensi*. Una disciplina che rappresenta già uno sbocco professionale importante per il *geologo*. In particolare questo libro rappresenta una sorta di bussola che permette al *geologo* professionista, che voglia intraprendere questa specifica attività, di orientarsi nel mondo delle varie applicazioni di sua competenza che possono essere di rilievo per la risoluzione dei problemi specifici in ambito forense.

Introduzione

MARIANO MERCURIO, ALESSIO LANGELLA
ROSA MARIA DI MAGGIO, PIERGIULIO CAPPELLETTI

Le scienze forensi rappresentano l'applicazione di tecniche e metodologie scientifiche alle tradizionali investigazioni di carattere giudiziario, in relazione all'accertamento di un reato o ad un comportamento sociale. All'interno di esse un posto di rilievo è ricoperto dalle geoscienze forensi, ovvero l'applicazione di differenti metodi analitici, tipici delle Scienze della Terra, ai casi giudiziari.

Alle geoscienze forensi afferiscono numerosi settori delle Scienze della Terra, come la mineralogia, la petrografia, la geochemica, la geologia applicata alle costruzioni, il *remote sensing*, la geomorfologia, la geofisica, la climatologia e via dicendo, le cui applicazioni possono fornire un'utile chiave di lettura dell'ambiente che ci circonda, nel contesto di numerose tipologie di reato, sia in ambito penale che civile.

Molti reati si svolgono in aree all'aperto e in ambienti che scambiano elementi ed informazioni con chi li frequenta. Il contesto ambientale può entrare a far parte della dinamica criminale in diverse situazioni: esso può essere il luogo ove nascondere un cadavere o materiali inquinanti, o può essere testimone di un delitto; può essere il principale depositario di tracce ed elementi di prova lasciate sia dalla vittima che dall'autore di un reato, o può risultare protagonista della dinamica criminale, quando, per esempio, se ne è abusato nelle fasi di progettazione e costruzione di infrastrutture, discariche o manufatti architettonici, ma anche quando esso lascia tracce su indumenti ed oggetti (come per esempio la terra rinvenuta sulle calzature di una vittima o di un sospettato). In questa visione le geoscienze forensi si contestualizzano perfettamente in ciò che nelle scienze forensi è conosciuto come Principio di interscambio di Locard (1910), il quale afferma

essenzialmente che «ogni volta che due oggetti vengono in contatto l'uno con l'altro c'è sempre un trasferimento di materiale; anche se i metodi di indagine possono non essere sufficientemente sensibili a dimostrare tale scambio o certe condizioni possono eliminarlo, il trasferimento di materiale avviene». Questo principio costituisce la base del repertamento e dell'esame di tutte le tracce considerate fonti di prova, dalle impronte digitali ai geomateriali. Infatti, i minerali, le rocce e tutti i materiali da essi derivati (per esempio: suoli e terreni) vengono in contatto con l'uomo quotidianamente ed assumono un ruolo precipuo in molte attività antropiche che vanno dall'industria all'agricoltura, dall'edilizia al tempo libero. I geomateriali, sia naturali che di trasformazione, essendo i principali costituenti della superficie terrestre, entrano in contatto con l'uomo o vengono volontariamente utilizzati anche in attività illecite o durante lo svolgimento di un crimine ed a volte possono ricoprire un ruolo primario come elementi di prova.

L'approccio rigoroso delle Scienze della Terra alle investigazioni giudiziarie e la crescente necessità di risolvere differenti tipologie di reato in diversi contesti ed ambienti hanno permesso non solo di migliorare le tecniche sulla scena del crimine ed in laboratorio, ma anche di beneficiare di nuovi approcci multidisciplinari attinenti al campo della fisica, della chimica, della biologia e della geoarcheologia.

In varie parti del mondo, specialmente nei paesi anglosassoni, i geologi elaborano testi e ricerche scientifiche con l'intento di migliorare le conoscenze sull'argomento specifico, sottolineando l'importanza del coinvolgimento delle geoscienze nella risoluzione delle problematiche forensi investigative, *latu sensu*, agli addetti del settore giudiziario.

Come dato di fatto, i principali testi internazionali e nazionali disponibili in letteratura, stanno affrontando questa tematica in modo più esteso lasciando ampi margini a trattazioni più dettagliate. In quest'ottica, il presente progetto editoriale si pone come obiettivo un approfondimento delle principali tecniche strumentali usate diffusamente in mineralogia e petrografia, le cui potenzialità per scopi forensi sono ancora inesprese. È necessario precisare che i minerali e le rocce sono materiali indispensabili nelle attività umane per le quali hanno rappresentato da sempre una risorsa primaria. Alcuni minerali vengono utilizzati tal quali, come il talco, lo zolfo o l'amianto; altri vengono trattati per ottenere materiali utilizzabili nei più svariati campi di applicazione. Si pensi al loro impiego nei com-

ponenti elettronici e meccanici, nei materiali da costruzione e ceramici, nelle vernici e nei pigmenti, nei cosmetici, nell'industria farmaceutica e così via. Inoltre, le strutture cristalline prodotte in natura, in tempi geologici, rappresentano una fonte di ispirazione per la sintesi, vale a dire per la riproduzione artificiale, di materiali tecnologicamente avanzati. Lo studio dei minerali, della loro struttura e composizione nonché della loro provenienza, quindi, riveste un interesse forense non solo per le indagini inerenti le geoscienze, ma anche per tutte quelle scienze criminalistiche che hanno come fine l'identificazione di un materiale di qualsiasi natura, sia essa organica, inorganica o sintetica.

Il presente manuale di analisi mineralogiche di laboratorio può essere fruibile da tutti i professionisti delle geoscienze impegnati nel contenzioso forense di vario genere con particolare riguardo non solo alle tecniche, ma anche al trattamento del campione che viene analizzato come fonte di prova. Questo aspetto ricopre particolare importanza nel campo forense, in quanto l'accertamento tecnico e l'eventuale distruzione della prova, da parte dell'operatore che la analizza tramite procedure irripetibili, è ben disciplinata dal legislatore. A tal proposito, è bene ricordare che lo studio dei dati materiali pertinenti al reato e alla sua prova e la relativa elaborazione critica, necessariamente soggettivi e per lo più su base tecnico-scientifica, richiedono una particolare competenza e la presenza di "persone idonee", i consulenti tecnici, che svolgeranno gli accertamenti sulla base di due diverse tipologie disciplinate dagli artt. 359 e 360 del c.p.p.: indagini ripetibili o irripetibili.

Partendo dal concetto di "irripetibilità", l'art. 360 disciplina quegli accertamenti tecnici che coinvolgono cose o persone il cui stato e/o trattamento è sottoposto a modificazione. Tali accertamenti prevedono una particolare procedura volta a consentire idonee garanzie difensive (il PM deve, infatti, avvertire senza ritardo la persona sottoposta alle indagini, la persona offesa e i difensori che possono nominare un proprio consulente tecnico). Le altre operazioni considerate ripetibili in un secondo momento, non hanno, invece, tali garanzie.

In questo contesto, il presente testo potrebbe rappresentare un utile compendio per magistrati, avvocati e specialisti delle scienze forensi, impegnati nel contenzioso processuale, che possono essere supportati da metodologie scientifiche sempre più affidabili e, perché no, servire da guida per gli studenti dei vari corsi di studio attinenti le geoscienze.

La forte impronta geologica che caratterizza questo volume ha spinto gli editori a rivolgersi esclusivamente ad autori che avessero una consolidata esperienza nelle tecniche analitiche selezionate e che guardassero al “problema forense” da un punto di vista prettamente geologico. Gli editori sono convinti che l’elevata professionalità che caratterizza tutti gli autori coinvolti al presente progetto abbia permesso di confezionare un prodotto di qualità che si spera possa incontrare i favori dei lettori.