

E.CUSTODIO M.R.LLAMAS

IDROLOGIA SOTTERRANEA



Traduzione a cura di Roberto Spandre
UNIVERSITÀ DI PAVIA

Presentazione del traduttore

Il manuale si prefigge un'ampia sintesi dei numerosi settori scientifici e tecnici che occupano un posto fondamentale nello studio e nello sfruttamento delle acque sotterranee.

Anche se un poco datato in alcuni argomenti, che sono stati comunque mantenuti proprio per mantenere viva una "memoria storica" su quanto è stato fatto nel campo dell'idrogeologia, il testo ha ancora un posto di prima file tra gli studiosi, i professionisti ed i ricercatori di numerosi paesi.

Si può dire che quest'opera ha costituito e costituisce tuttora, un punto di riferimento per molti e ne danno prova le numerosissime citazioni e riferimenti bibliografici, presenti in lavori specifici di mezzo mondo.

La necessità per la quale fu creato questo manuale, nella metà degli anni settanta, è ancora viva e presente nel mondo scientifico dell'idrologia sotterranea, dove la diffusione delle conoscenze e della preparazione specifica ed articolata non ha mai perso di valore e di importanza.

La completezza degli argomenti e la ricchezza di esempi e riferimenti alle varie realtà idrogeologiche internazionali, contrassegnano il manuale in ognuna delle sezioni e dei capitoli che lo compongono.

L'impostazione e lo sviluppo dell'opera evidenziano, in maniera inequivocabile, l'estrazione dell'Autore o degli Autori di ogni singola sezione, che hanno avuto la possibilità di approfondire loro conoscenze specifiche sull'argomento, attraverso la loro grande esperienza nel mondo reale, trasferendola poi, alle pagine del testo.

È dal connubio tra scienza, tecnica e realtà che nasce questo testo, ben equilibrato sia negli aspetti teorici che applicativi.

Nell'opera si evince, tra l'altro, l'abilità dei curatori-autori dell'edizione originale, a cogliere l'essenziale delle varie problematiche, evitando inutili e superflui dettagli, senza mai però perdere di vista l'esame dei particolari che possono scaturire da specifiche esigenze.

L'uso di numerosi esempi, relativi a situazioni e territorialità diverse, è di grande utilità per indirizzare il lettore all'uso di metodologie non rigidamente schematizzate ma adattate, in maniera opportuna, alle esigenze più varie.

Grazie a questa sua articolazione e alla diversità degli argomenti trattati, l'opera è diretta sia ai professionisti che agli studenti di geologia e di ingegneria, essendo nata non solo per insegnare le metodiche di indagine, di valutazione e di confronto nei vari settori dell'idrogeologia, l'idrochimica, la fluodinamica, la statistica, l'idrologia di superficie, l'idraulica delle captazioni, i traccianti, le indagini sulle acque sotterranee, le prospezioni geofisiche applicate all'idrogeologia, i modelli matematici, la ricarica artificiale degli acquiferi, la pianificazione idraulica, le applicazioni dell'idrologia sotterranea alla geotecnica, ma anche per trasmettere un modo di ragionare e di esprimersi in chiave idrogeologica.

Roberto Spandre

Preambolo

Questo testo uscirà in concomitanza con l'inizio della decima edizione del Corso Internazionale di Idrologia Sotterranea che si celebra, ininterrottamente, dal 1967 presso l'E.T.S. degli Ingegneri Industriali dell'Università Politecnica di Barcellona. È stata la Commissione Docente a redigere la maggior parte del testo e a coordinarne la totalità, di modo che l'iniziativa presa nel 1966 dai due organismi della Direzione Generale delle Opere Idrauliche del Ministero di Opere Pubbliche ed un Centro di Investigazione privato, all'interno delle direttive del Decennio Idrologico internazionale e dell'Istituto di Idrologia del Consiglio Superiore di Investigazioni Scientifiche, alla quale si sono più avanti uniti l'Università Politecnica di Barcellona ed un altro organismo di detta Direzione Generale, trova in quest'opera una solida giustificazione di successo.

L'approfondimento teorico e pratico ed il lavoro d'insegnamento realizzato in questi anni, al quale hanno partecipato stranieri provenienti da 24 paesi, più di duecento titolati spagnoli e quasi un centinaio di professori esperti e conferenzieri, suppone un'esperienza che meriterebbe di essere trasmessa ad un pubblico più ampio, ed i suoi risultati fissati in una cornice di maggior permanenza e diffusione. Le premesse sono state tali che hanno spinto gli Organismi patrocinatori ad appoggiare l'iniziativa di raccogliere, in questi volumi, i contenuti dell'attuale programma del Corso, basato sulle più moderne tecniche¹ e conoscenze e pragmaticamente unito a delle necessità pedagogiche, la cui efficacia crediamo sia sufficientemente consolidata, appoggiandosi agli importanti lavori idrologici realizzati dai docenti a Barcellona ed in altri luoghi del nostro Paese².

Terminato quindi questo grande lavoro, vogliamo estendere in queste righe i nostri ringraziamenti più sinceri, per lo sforzo e l'impegno dimostrato, a tutti coloro che lo hanno reso possibile. Ringraziamo in particolare il gruppo coordinatore di redazione, senza dimenticare tutti professori ed i professionisti che hanno vi collaborato direttamente o indirettamente, e le edizioni Omega per l'accurata elaborazione e presentazione.

GABRIEL FERRATÉ PASCUAL

Magnifico Rettore dell'Università Politecnica di Barcellona.

MANUEL GÓMEZ DE PABLOS GONZÁLEZ

Direttore del Servizio Geologico Di Opere Pubbliche.

FRANCISCO VILARÓ RICOL

Commissario Capo del Commissariato delle Acque dei Pirenei Orientali.

JOSÉ MARÍA LLANSÓ DE VINYALS

Ingegnere Direttore della Confederazione Idrografica dei Pirenei Orientali

GONZALO TURELL MORAGAS

Presidente del Centro di Studi, Ricerca ed Applicazioni dell'Acqua.

Barcellona, novembre 1975

¹ N.d.A.: L'autore si riferisce, evidentemente, all'anno della prima edizione del Manuale, il 1975.

² La Spagna.

Prologo

Negli ultimi anni si nota, a livello mondiale, una grande attività nell'utilizzo e nello sfruttamento delle risorse idrauliche e, allo stesso tempo, si stima un enorme aumento ed espansione delle conoscenze scientifiche, tecnologiche e legali relative all'acqua. Questa crescita è stata maggiore nell'ambito dell'Idrologia Sotterranea che in qualunque altro ambito dell'Idrologia Generale.

Fino a relativamente pochi anni fa, l'Idrologia Sotterranea era una disciplina che attirava l'attenzione solo di un gruppo piuttosto ridotto di ricercatori di Scienze della Terra e di Ingegneria, e di un gruppo ancora più ridotto di pianificatori idraulici. Attualmente, il numero di persone interessate alle acque sotterranee, nei campi scientifico, tecnico, socioeconomico, amministrativo e legale è già importante, e si sta verificando una chiara presa di coscienza, con una sua importanza intrinseca, del suo ruolo essenziale nel ciclo idrologico e del suo interesse sociale ed economico, tanto nei paesi sviluppati quanto in quelli in via di sviluppo.

Un chiaro segno dell'importanza che oggi si concede alle acque sotterranee, è la notevole proporzione dei programmi di ricerca su temi a loro direttamente collegati, e dei vari tipi di programmi di ricerca idrologica. Un chiaro esempio è il Programma Idrologico Internazionale per il 1975-1980, patrocinato dalle Nazioni Unite attraverso l'UNESCO, il quale è, in realtà, la continuazione di un altro programma internazionale: il decennio Idrologico Internazionale, che si è concluso nel 1974.

Le acque sotterranee sono collegate ad un gran numero di fattori geologici, idrodinamici, fisico-chimici, biologici ed antropologici, associati alle incertezze proprie, non solo quelle variabili e complesse della Natura, ma anche da quelle governate della libertà umana. Per il loro studio ed utilizzo si deve ricorrere a tecnologie e scienze, a volte di sviluppo molto recente o di contenuto poco comune. Perciò, si ha bisogno di conoscenze che comprendano i più ampi e svariati

campi del sapere, per cui è necessario qualificare l'Idrologia Sotterranea come una scienza multidisciplinare, che esige una buona base di fondamenti scientifici e tecnologici.

Solo questo fatto giustificherebbe già il tentativo di realizzare un'opera che raccolga le diversità tematiche che danno forma all'Idrologia Sotterranea, lo stato attuale delle conoscenze in questo campo e gli aspetti, ancora poco conosciuti, nei quali si concentrano o devono concentrarsi gli sforzi futuri. Questa opportunità è rafforzata anche dal fatto che, finora, i libri di Idrologia Sotterranea scritti originariamente in spagnolo sono molto pochi. Negli ultimi anni sono state fatte alcune traduzioni di conosciute opere straniere, ma ci sembra che la presentazione congiunta di una considerevole lista di autori ed esempi, in gran parte opera di scientifici spagnoli, possa costituire un contributo interessante non solo per la Spagna, ma anche per tutti i Paesi Ispano-americani e per quelli che si esprimono in lingue affini alla nostra.

Per tanto non va considerata solamente la coincidenza o la vicinanza linguistica ma anche, e non in minor scala, le affinità culturali, economico-sociali, amministrative e legislative. D'altra parte, la varietà geologica, morfologica e climatica della Spagna peninsulare ed insulare ha anche facilitato il conseguimento di un'ampia gamma di esperienze che comprendono una buona parte delle situazioni che possono proporsi nei paesi a cui si è alluso precedentemente.

L'origine di quest'opera deve cercarsi nel Corso Internazionale d'Idrologia Sotterranea, che si è costituito nel 1966 a Barcellona, negli appunti e nelle note e negli scritti che sono stati prodotti durante le successive edizioni, grazie al paziente lavoro di professori e conferenzieri, senza dimenticare gli interessanti contributi dei numerosi partecipanti, molti dei quali hanno portato con sé esperienze interessanti e problemi pratici. Si tratta quindi di un testo con un certo carattere docente, nonostante il modo di trattare certi temi e l'intensità con cui

altri vengono sviluppati, ma che estende l'interesse verso tutti quegli scienziati e professionisti dell'Idrologia Sotterranea o dei campi ad essa collegati, che portano avanti la propria attività nei centri di ricerca, nelle aule, nelle imprese e nelle Amministrazioni. Anche se non si tratta di un «manuale» propriamente detto, determinati capitoli includono materiale sufficiente perché possa essere utilizzato come tale, non solamente nel campo concreto dell'Idrologia Sotterranea, ma anche in certi aspetti dell'Agronomia, della Pedologia, dell'Idraulica, dell'Idrologia generale, dell'Ingegneria civile, della Geotecnica, delle Irrigazioni e dei Drenaggi, dell'Urbanistica, dell'Ecologia, dell'Industria sanitaria, dell'Ingegneria delle risorse idrauliche, dell'Ingegneria delle risorse energetiche e minerali, ecc.

Si attribuisce a Leonardo da Vinci la frase: «*Se t'addiuviene trattare delle acque, considera prima la esperienza e poi la ragione*», che si può interpretare come una prova, di questo geniale artista ed uomo di scienza del Rinascimento, che l'Idrologia non è una scienza esatta; l'applicazione esatta dei suoi concetti richiede una considerevole dose di esperienza e senso pratico. Per questo motivo si è fatto in modo che tutti gli autori e collaboratori di quest'opera riunissero il requisito di avere una notevole esperienza professionale sul tema su cui scrivono. Così, solo tre di loro hanno un impegno preferenziale, anche se non esclusivo, verso la docenza universitaria e la ricerca; il gruppo più numeroso di autori e collaboratori è formato da persone con diversi titoli e specializzazioni che lavorano in Enti Pubblici o Privati. La maggior parte di loro rende, o ha reso compatibile, la propria funzione professionale con il lavoro da docente anche se, ce ne sono altri che si dedicano esclusivamente ad attività di impresa privata.

Le 24 sezioni di quest'opera possono riunirsi, grosso modo, in sei grandi gruppi:

1) DISCIPLINE AUSILIARI, la cui intenzione è quella di presentare quei principi basilari di geologia, idraulica ed idromeccanica, statistica e chimica, che poi saranno utilizzati in altre sezioni.

Comprende le sezioni:

Sezione 1. Concetti geologici basilari di applicazione all'Idrologia.

Sezione 2. Elementi di Idromeccanica.

Sezione 3. Nozioni di Statistica applicata all'Idrologia.

Sezione 4. Principi basilari di Chimica e radiochimica di acque sotterranee.

2) IDROLOGIA DI SUPERFICIE, che presenta i principi basilari di estimo, trattamento ed analisi di dati di deflusso superficiale o di regolazione.

Comprende la sezione:

Sezione 7. Idrologia di superficie.

3) IDRAULICA DI ACQUE SOTTERRANEE, parte principale della teoria delle acque sotterranee nella quale si trattano in dettaglio principi e caratteristiche del flusso dell'acqua sotterranea, dell'idraulica delle captazioni, delle relazioni tra i diversi tipi di acque sotterranee e di queste con le acque superficiali, oltre ai concetti basilari sulla pluviometria, evapotraspirazione ed infiltrazione, e della loro misura, facendo da ponte con l'Idrologia superficiale e focalizzati verso le acque sotterranee.

Comprende le sezioni:

Sezione 5. Concetti basilari e definizioni.

Sezione 6. Componenti primarie del Ciclo idrologico.

Sezione 8. Teoria elementare del flusso dell'acqua nei mezzi porosi.

Sezione 9. Idraulica di captazione delle acque sotterranee.

Sezione 11. Relazione tra le acque superficiali e le acque sotterranee.

Sezione 13. Relazioni acqua dolce-acqua salata nelle regioni costiere.

Sezione 16. Modelli in Idrologia sotterranea.

4) ASPETTI CHIMICI DELLE ACQUE SOTTERRANEE, che è una parte principale della teoria generale delle acque sotterranee e che sta acquisendo sempre di più maggior sviluppo ed utilità. Si trattano gli aspetti relazionati all'apparizione, evoluzione e studio degli ioni principali in funzione delle caratteristiche del flusso dell'acqua sotterranea, senza dimenticare gli ioni minori di maggior interesse. Si considerano, anche in dettaglio, gli aspetti del trasporto delle sostanze dissolte e la loro dispersione; l'utilità e l'applicazione delle tecniche isotopiche e radioisotopiche ed anche della qualità e della contaminazione, la cui importanza è sempre maggiore.

Comprende le sezioni:

Sezione 10. Idrogeochimica.

Sezione 12. Tracciatori e tecniche radioisotopiche in Idrologia Sotterranea.

Sezione 18. Qualità dell'acqua sotterranea.

5) Prospezione di acque sotterranee, nelle quali si espongono le tecniche di riconoscimento e localizzazione delle acque sotterranee.

Comprende le sezioni:

Sezione 14. Prospezione geofisica applicata all'Idrologia.

Sezione 15. Esplorazione di acque sotterranee.

6) SFRUTTAMENTO E GESTIONE DELLE ACQUE SOTTERRANEE, che riunisce i diversi principi, le tecnologie ed i metodi di sfruttamento delle acque sotterranee e della loro gestione nell'insieme delle risorse idrauliche disponibili, perciò si tratta, come presentazione, altre risorse d'acqua possibili.

Comprende le sezioni:

Sezione 17. Progetto e costruzione di captazioni di acqua sotterranea.

Sezione 19. Sovraccarico artificiale di acquiferi sotterranei.

Sezione 20. Idroeconomia e pianificazione idraulica.

Sezione 21. Legislazione delle acque³.

Sezione 22. Applicazioni dell'Idrologia Sotterranea in Geotecnica e nell'Ingegneria Civile.

Sezione 23. Altre risorse d'acqua.

Sezione 24. Valutazione globale delle acque sotterranee.

L'ordine di presentazione delle sezioni non coincide con l'elenco fatto precedentemente; ciò è dovuto al fatto che il raggruppamento qui segnalato non è necessariamente il migliore dal punto di vista espositivo per l'insegnamento. L'inquadramento non esclude tuttavia che le sezioni contengano capitoli le cui tematiche siano più appropriate.

Con questo insieme di 24 sezioni, distribuite in più di cento capitoli, abbiamo provato ad offrire una panoramica comprensiva dell'Idrologia Sotterranea, da un punto di vista che punta all'esplorazione e allo sfruttamento delle Risorse Idriche Sotterranee, senza perdere di vista il loro frequente legame con quelle superficiali. I concetti esposti in una sezione con frequenza sono relazionati con quelli di altre; per questo i riferimenti incrociati sono numerosi. Tuttavia si è tentato di rendere comprensibile ogni sezione, per facilitarne la lettura senza per forza consultare ogni volta le altre parti. I riferimenti bibliografici in ogni sezione sono molto ampi per aiutare il lettore ad approfondire l'argomento su quei temi che sono di suo interesse. Alla fine del secondo volume si trova un esteso indice delle materie ed un altro dei concetti fondamentali. Questi due indici comprendono tutte le sezioni dell'opera e speriamo che possano contribuire a rendere più faci-

le l'utilizzo del testo come un vero e proprio libro di consultazione.

Non si nasconde che la presente opera – la cui preparazione è durata più di sei anni – possa contenere alcuni difetti, molti dei quali probabilmente si sarebbero potuti evitare con una preparazione più prolungata. Tuttavia, ciò avrebbe ritardato il suo utilizzo da parte delle persone interessate e, forse, saremmo risultati sterili per eccesso di perfezionismo. Gli autori pensano che le molte ore dedicate a quest'impresa avranno un valore se con questo libro si sarà contribuito a far sì che in Spagna, ed in molti altri paesi, si imponga una migliore e più giusta gestione delle risorse idriche, sempre più scarse e necessarie, minacciate continuamente dall'ignoranza e la negligenza che portano alla loro contaminazione, distruzione o spreco, quando il loro carattere di bene vitale dovrebbe essere predominante.

I direttori dell'edizione che firmano questo prologo vogliono rendere pubblico il loro riconoscimento, in primo luogo agli organismi patrocinatori dell'opera, che sono gli stessi che hanno promosso e/o patrocinato i successivi Corsi Internazionali di Idrologia Sotterranea di Barcellona. È nostro dovere ringraziare per la loro collaborazione anche tutti i restanti autori e collaboratori, che hanno saputo dedicare una parte del loro tempo a questo lavoro di "equipe". Menzione speciale merita il Segretario dei Comitati di Redazione e di Edizione, Dott. Martín Arnáiz, che ha revisionato nel dettaglio la totalità dell'opera, i colleghi che hanno collaborato e che si sono sovraccaricati di parte del compito, non sempre semplice, dell'edizione. Non sarebbe giusto dimenticare l'interesse che le edizioni Omega hanno posto in quest'opera, e la volontà che la Scuola Grafica Salesiana ha impiegato nell'ottenere un'ottima presentazione partendo da alcuni originali non sempre chiari, e dalle difficoltà generate dalle continue correzioni ed aggiunte per aggiornare il testo, man mano che l'edizione progrediva. Naturalmente non possiamo dimenticare il lavoro dei disegnatori e dei dattilografi che, anche se il loro nome resterà nell'anonimato, sono stati un parte importante per la preparazione di questo libro.

³ N.d.A.: Ci si riferisce naturalmente alla legislazione spagnola in vigore al momento della stesura del testo originale.

Sezione 1

Concetti geologici basici di applicazione in idrologia

Andrés Galofré
Laureato in scienze geologiche

1.0 INTRODUZIONE GENERALE DELLA SEZIONE

Il fatto di includere in questa opera una prima sezione dedicata esclusivamente ai concetti geologici che hanno una diretta applicazione in idrologia, e in particolare in quella sotterranea, non è casuale. In realtà, oltre al grande interesse anche economico, dello studio geologico della parte più superficiale della crosta terrestre, allo scopo di individuare i minerali o le sostanze utili all'uomo (carbone, argille, petrolio, uranio, ecc.) o al suo aspetto di applicazione pratica (la geologia in rapporto alle opere pubbliche: autostrade, dighe, canali, ecc.) tutti i campi del sapere geologico, considerati da un punto di vista strettamente scientifico, tendono a risolvere alcune delle innumerevoli incognite del mondo in cui viviamo che, per mancanza di riflessione o di preoccupazione, ci risultano inavvertite. Così, per esempio, l'origine o la formazione della stessa Terra, la disposizione o la struttura interna di essa (qual è la natura dei materiali esistenti sotto la superficie terrestre? In che cosa consiste il centro del pianeta?), la sua relazione con i movimenti sismici, la diversa disposizione degli strati del terreno nei differenti luoghi di una regione o un paese, la stessa disposizione geografica delle zone montagnose e delle pianure, ecc. sono domande alle quali la geologia, o le sue principali divisioni, pretende di dare una spiegazione logica e razionale, ossia in accordo con il resto dei processi naturali che avvengono nel pianeta.

In questo senso lato, si potrebbe definire la geologia come la scienza che studia tutti quei fenomeni naturali, eccezione fatta per quelli di tipo biologico, così come la loro origine e i loro mutui rapporti, che si producono sul pianeta, sia sotto la superficie terrestre che sopra di essa.

Questa definizione dà luogo a un vasto assortimento di discipline legate, in maniera più o meno stretta, alla geologia, obbligando lo scienziato a specializzarsi, per esempio, in pa-

leontologia, mineralogia geofisica, tettonica, biologia, astronomia, petrologia, geomorfologia, ecc.

Bisogna allora chiedersi quale rapporto può esistere tra una scienza così profusamente relazionata con altri rami del sapere umano e l'idrologia sotterranea. La spiegazione di tale questione sta nel considerare che tutti i fenomeni della Idrogeologia sotterranea avvengono in ambienti prettamente geologici, ossia che le acque sotterranee si muovono all'interno di formazioni litologiche, il cui studio geologico preventivo è fondamentale per comprendere adeguatamente i problemi che si pongono nella fase posteriore quella di Idrogeologia sotterranea propriamente detta.

Da un altro punto di vista, il significato propriamente etimologico del termine acquifero (dal latino *aqua* = acqua e *fero* = portare) ci suggerisce in sé l'idea che questi sono localizzati in masse rocciose che portano o contengono acqua, per cui è indispensabile avere un'idea di base della struttura geologica della regione, così come della natura dei materiali in essa esistenti, prima di iniziare uno studio o un lavoro idrogeologico in una determinata area.

La geologia non costituisce però solo la base iniziale della conoscenza delle acque sotterranee di una zona, ma condiziona il funzionamento degli acquiferi ivi presenti, riguardo alla distribuzione di materiali permeabili e/o impermeabili, fenditure, fratture, affioramenti del basamento, ecc., che possono influire sul comportamento dell'acquifero considerato. Così, per esempio, con una mappa della distribuzione dei materiali permeabili in superficie, si può stimare, grosso modo, la misura in cui un acquifero può essere ricaricato dalle precipitazioni. In altri casi, per esempio in acquiferi di tipo alluvionale, bordeggiati da formazioni meno permeabili, la conoscenza della superficie piezometrica degli stessi viene facilitata dalla definizione delle formazioni delimitanti e dalle loro caratteristiche idrologiche, poiché permetterà di tracciare, secondo determinati criteri e metodi le isopieze.

Concetti geologici basici di applicazione in idrologia

In verità per realizzare uno studio idrogeologico, generalmente non è necessaria una conoscenza molto profonda e dettagliata delle caratteristiche geologiche di una zona, visto che non si tratta di conoscerne la stratigrafia, distinguendo strati di un metro, o meno di spessore, né di conoscere per mezzo di una mappa geologica in scala 1/5.000 la distribuzione dei materiali permeabili e impermeabili, né di sapere se l'acquifero che si sta studiando appartiene a una determinata formazione o a un'altra. In generale, una conoscenza non troppo dettagliata dei più importanti tratti geologici (struttura, litologia dei terreni), indicati in mappe in scala 1/50.000 o 1/25.000 sono sufficienti, anche se, naturalmente, esistono occasioni in cui è necessario ricorrere a mappe speciali o a una cartografia molto dettagliata per risolvere problemi di particolare difficoltà.

Così quindi, e in questo senso, si potrebbe parlare di geologia applicata alle acque sotterranee, ed è per questo che il titolo della sezione non è semplicemente "geologia", ma invece "Concetti geologici di base applicati all'idrologia".

Seguendo dunque i predetti criteri, nei capitoli che costituiscono la presente sezione si fornisce una visione generale e semplificata di quei fenomeni geologici che hanno grande

importanza nella idrologia sotterranea, senza scendere a dettagli di importanza secondaria che, seppure possono essere molto interessanti per il geologo, puro o specialista in un qualsiasi ramo della materia, sono ininfluenti per l'idrogeologo esperto. Il lettore che voglia approfondire uno qualsiasi dei temi qui trattati troverà sufficienti informazioni nella bibliografia citata e in qualsiasi trattato di geologia specializzata.

In questo senso, il lettore di formazione eminentemente geologica troverà molto semplicistico il contenuto dei prossimi capitoli, ma non così sarà per quello la cui formazione sia fondamentalmente fisico-matematica.

La sezione è divisa in cinque capitoli e un'appendice. I primi due trattano dei materiali che formano la crosta terrestre dal punto di vista statico (rocce plutoniche, vulcaniche e metamorfiche nel primo e rocce sedimentarie nel secondo). Il terzo fornisce alcune idee molto generali sui concetti di base della stratigrafia e la geologia storica, il quarto affronta le modificazioni che soffrono le formazioni geologiche a seguito delle forze che agiscono nella crosta (pieghe e fratture) e il quinto è dedicato agli aspetti più importanti delle mappe geologiche. Infine, in appendice si commenta l'impiego della fotografia aerea come moderno ausilio della geologia.

I materiali: rocce plutoniche, vulcaniche e metamorfiche

1.1 LA CROSTA TERRESTRE

Il terzo pianeta del sistema solare, in ordine di distanza dal Sole (all'incirca 150 milioni di chilometri) è la cosiddetta *Terra* di forma quasi sferica.

Le sue caratteristiche fisiche principali sono le seguenti: (Emmons et al, 1963, p. 14; Bellair e Pomerol, 1968, p. 4 e Lvovitch, 1967, e Nace, 1969)

Circonferenza media	40.009 km
Diametro medio	12.742 km
Volume	$1083 \cdot 10^9 \text{ km}^3$
Superficie	$510 \cdot 10^6 \text{ km}^2$
Massa o peso	$5,6 \cdot 10^{21} \text{ tm}$
Densità media globale	5,5 g/cm ³
Superficie dei continenti	$158,9 \cdot 10^6 \text{ km}^2$
Superficie degli oceani	$361,1 \cdot 10^6 \text{ km}^2$
Volume degli oceani	$1,3722 \cdot 10^9 \text{ km}^3$
Massa degli oceani	$1,422 \cdot 10^{17} \text{ tm}$
Massa dell'atmosfera	$5,098 \cdot 10^{14} \text{ tm}$
Massa attuale del ghiaccio	$335 \cdot 10^{14} \text{ tm}$
Volume attuale del ghiaccio	$36 \cdot 10^6 \text{ km}^3$

Di questo enorme globo terracqueo, l'uomo conosce direttamente solo la parte più esterna, per uno spessore di alcuni chilometri; secondo Landes (1963, p. 45) la perforazione più profonda che sia stata realizzata raggiunge i 6.879 metri; il resto dei 6.371 km. che vanno dalla superficie del mare al centro della Terra è conosciuto solo attraverso informazioni sismiche e deduzioni di tipo geofisico e geochimico.

I movimenti sismici, o terremoti, sono il risultato della propagazione di onde, o vibrazioni, che si producono all'interno del globo terrestre, in conseguenza di enormi tensioni che superano il limite di deformazione elastica o plastica, producendo brusche rotture (Meléndez e Fúster, 1969, pp. 46 e segg.).

Il registro grafico di queste onde, o *sismogrammi*, classificate come longitudinali, primarie o onde "P" e trasversali, secondarie o onde "S" a seconda della velocità di propagazione all'interno della Terra, che si ottiene con apparati speciali (sismografi), permette di determinare il punto esatto da cui è partito il movimento sismico, così come le velocità di propagazione delle onde di ogni tipo alle diverse profondità.

Grazie a questi registri è stato possibile determinare che la Terra è un pianeta con una struttura zonale concentrica, composta da tre strati principali: strato esterno o litosfera, detta anche crosta, manto o strato intermedio e nucleo centrale (fig. 1.1). In detta figura è possibile apprezzare una serie di discontinuità assai accentuate che pongono in rilievo le zone di contatto o transito da uno strato all'altro.

La più importante è quella che si trova a minore profondità, detta discontinuità di Mohorovičić, situata a una cinquantina di chilometri sotto la superficie terrestre – la profondità varia secondo la distribuzione degli oceani e delle masse continentali –, che separa la crosta dallo strato intermedio. Verso i 2.900 km si trova lo strato più esterno del nucleo, determinato perfettamente da una notevole diminuzione della velocità delle onde "P" e dall'assenza di propagazione delle onde "S", discontinuità chiamata di Gutenberg o, da altri autori, di Gutenberg-Wiechert (Bellair e Pomerol, 1968, p. 25).

Ciò nonostante, l'esistenza di altre discontinuità di secondo ordine, come quella che pare esista attorno ai 5.100 km di profondità, che separerebbe il centro del nucleo (o nucleo-*lo*, secondo la nomenclatura di alcuni autori) dal resto dello stesso, palesa il fatto che, sulla costituzione interna della Terra, attualmente possiamo avanzare solo ipotetiche concezioni più o meno confermate da fatti reali, e non accettate dalla totalità degli studiosi.

Questo aspetto di incertezza dei concetti attuali sulla strut-

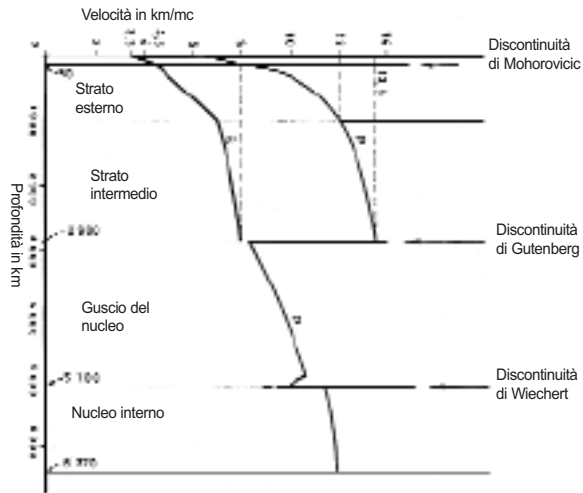


FIGURA 1.1
Velocità di propagazione delle onde "P" e "S" in funzione della profondità e della struttura interna della terra (secondo Bullen, in Meléndez e Fúster, 1973, p. 48)

tura del pianeta Terra, si accentua se si considera la natura fisico-chimica degli strati di cui è composta. Calcoli basati sulla densità dei distinti materiali terrestri, sulla variazione delle condizioni ambientali (principalmente pressione e temperatura), tendono a una natura granitico-basaltica (sial-sima) della crosta, uno strato intermedio composto da peridotiti e/o eclogiti, nella parte esterna, una zona formata da solfuri e ossidi nella parte interna e un nucleo costituito principalmente da nichel e ferro (nife).

Ciò che pare comunque certo e pienamente accettato, è che esiste uno strato a preponderanza granitica (sial), abbastanza spesso nelle masse continentali (fino a 60 km di profondità) e

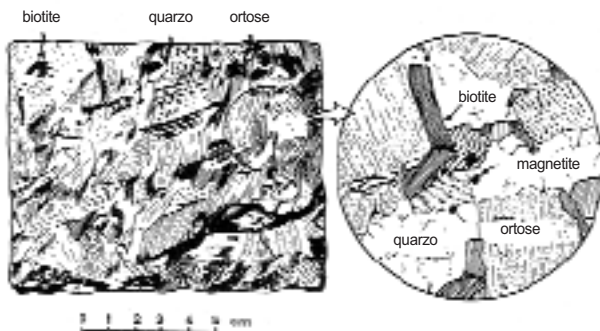


FIGURA 1.2
Quarzo, feldspato (ortosa) e mica nera (biotite) in quanto elementi minerali formanti il granito (preso da Gilluly, Waters e Woodford, 1964, p. 6)

molto fine o inesistente in corrispondenza degli oceani, appoggiato su uno strato basaltico (sima), che, a sua volta, si appoggerebbe sulla parte più esterna dello strato.

1.2 MINERALI E ROCCE COME ELEMENTI COSTITUTIVI DELLA CROSTA TERRESTRE

Nel paragrafo precedente abbiamo abbozzato gli aspetti più importanti che possediamo attualmente sulla costituzione della Terra. Purtroppo, però, l'uomo è capace di accedere solo allo strato più superficiale della crosta e fino al momento non è giunto neppure al cosiddetto sima.

La crosta terrestre, nella sua parte visibile e accessibile all'uomo, è composta da una serie di formazioni rocciose, o semplicemente rocce, che a loro volta sono il risultato della giustapposizione di una serie di elementi di categoria inferiore, denominati minerali. In effetti, se si esamina un pezzetto di una roccia qualsiasi, preferibilmente di grana grossa (granito, sienite, porfido, arenaria grossolana (a occhio nudo o, in caso di necessità, con l'impiego di una lente o di un microscopio, si osserverà che esistono una serie di granelli distinti per il colore, la trasparenza, la sfaldatura, ecc. (fig. 1.2). Ognuno di questi grani è quel che si dice un minerale, con una composizione chimica omogenea e determinata, con una struttura cristallina fissa, originato naturalmente nella crosta e con delle caratteristiche chimiche e fisiche definite, che solitamente variano molto poco.

L'unione di tutti questi fa sì che il congiunto si trasformi in una roccia, che può considerarsi come un aggregato o associazione di grani minerali, siano essi uguali o distinti tra loro. Ciò significa che ogni roccia sarà definita dalla presenza di determinati minerali, in proporzioni diverse per ogni tipo di esse. Se manca uno di questi minerali, si tratterà di un altro tipo di roccia, o di una varietà della stessa. Questi minerali si chiamano, quindi, essenziali, visto che senza la loro presenza la roccia considerata apparterrà ad un'altra classe. Nel granito, per esempio, i minerali essenziali sono il quarzo, il feldspato, l'ortosa, e la mica nera o biotite. L'assenza di uno qualsiasi di questi determina che la roccia non possa essere considerata un granito.

Esistono altri minerali chiamati accessori, che non modificano la natura della roccia, e possono mancare o essere presenti senza che ciò determini la sua appartenenza a un altro tipo. In questo modo, e nell'esempio precedente, l'esistenza di magnetite o di zirconio non modifica la natura granitica della roccia, anche se a volte possono essere utili dal punto di vista genetico.

Le particolarità relative all'origine o formazione dei minerali, il loro aspetto in natura, la loro struttura interna, le loro

caratteristiche fisiche, le tecniche per la determinazione degli stessi, ecc. possono vedersi in testi specializzati, e soprattutto in Berry e Mason (1959) e in Lahee (1962) e non vengono qui riportate in quanto non costituiscono una parte importante all'interno di questa opera.

1.3 CLASSIFICAZIONE DELLE ROCCE

Il problema della classificazione delle rocce, secondo criteri logici e razionali, è stato avanzato fin dall'antichità: furono proposte diverse norme (chimiche, strutturali, mineralogiche, ecc.) ma nessuna di esse serviva per classificare in forma inequivocabile tutti i tipi di rocce esistenti visto che, per esempio, esistono rocce di origine assai diversa la cui composizione chimica è esattamente uguale, così come esistono rocce la cui composizione mineralogica è assai diversa ma la cui origine o il processo di formazione sono assai simili.

Perciò, il criterio generalmente accettato dalla maggioranza degli autori è genetico-mineralogico, ossia le rocce sono classificate secondo il loro modo di formazione od origine, e quindi secondo i minerali che le formano nelle divisioni successive. Secondo questo criterio, le rocce si dividono in tre grandi tipi o classi: eruttive, sedimentarie e metamorfiche, a seconda che si siano formate per cristallizzazione di magma in profondità o in superficie, per accumulo e consolidamento di resti di rocce preesistenti oppure attraverso trasformazioni dei due tipi suddetti sotto l'azione di agenti fisici (temperatura, pressione) o chimici (aggiunta di elementi chimici estranei alle stesse).

A loro volta, le rocce eruttive si classificano in plutoniche, filoniane e vulcaniche, a seconda che il magma (vedi parte 1.3.1) che le ha originate abbia cristallizzato in profondità, durante la sua ascesa verso l'alto attraverso fenditure o fratture, o una volta giunto in superficie.

Tutte queste classi verranno discusse più in dettaglio nei paragrafi o capitoli successivi, dove si commenteranno formazione, struttura, classificazione e giacimenti di ognuna di esse.

1.3.1 Rocce eruttive plutoniche

1.3.1.1 Formazione. Dette anche, forse impropriamente, endogene, magmatiche, ignee, ecc...; formate dalla cristallizzazione in profondità di un magma, intendendo con ciò una miscela fluida o pastosa (da lì il nome greco) formata da soluzioni complesse di materie disciolte e gas a temperatura elevata. Questi magmi derivano dalla fusione di altre rocce preesistenti quando raggiungono livelli profondi della litosfera, oppure quando si alza la temperatura all'interno della stessa a causa di processi tettonici, vulcanici o altri ancora non ben chiariti.

Rocce plutoniche, vulcaniche e metamorfiche

Come si comprenderà facilmente, l'importanza della pressione e della temperatura esistenti nel momento della formazione e/o cristallizzazione dei magmi è di capitale importanza.

Senza dubbio, bisogna avvertire che alcuni autori qualificano certe rocce plutoniche come ultrametamorfiche (vedi più avanti) ossia come il risultato di un cambiamento assai profondo delle loro caratteristiche chimico-fisiche, oppure come conseguenza di fenomeni tettonici speciali che darebbero luogo ad una profonda alterazione della roccia e quindi alla ricristallizzazione della stessa, senza passare dallo stato di magma.

Secondo la teoria magmatica il processo di cristallizzazione è lento ed esiste un ordine nello stesso; prima cristallizzano i minerali accessori, quindi i silicati ferromagnesici (olivina, biotite, anfiboli, ecc.), quindi i feldspati (ortosa e plagioclas) e infine il quarzo. Durante questo processo possono avvenire variazioni nelle condizioni ambientali o aggiungersi nuovi elementi o composti organici che modificano, piano piano, il carattere della roccia, rendendo così più difficile la conoscenza delle loro origini.

1.3.1.2 Struttura. Fino ad oggi si sono designate indistintamente con la parola "struttura" due cose ben diverse: da un lato, la disposizione di una roccia, o formazione geologica, nel terreno, ovvero in scala macroscopica, e, dall'altro, la forma e disposizione dei grani minerali dentro la roccia, ovvero, in scala del modello o del sezionamento fine per l'osservazione al microscopio petrografico (Bellair e Pomerol, 1968, p. 81), detta anche tessitura da altri autori. In seguito, comunque, si utilizzerà la parola struttura per la seconda delle precedenti accezioni, mentre parlando di giacimento o modo di presentarsi di ogni tipo di roccia, si parlerà della struttura della stessa nel terreno.

In accordo con questi concetti, la struttura delle rocce eruttive può essere:

a) Granulare, nella quale tutti gli elementi minerali hanno all'incirca la stessa dimensione e sono normalmente visibili

b) Aplitica, ossia, quella struttura petrografica basata su un'infinità di cristalli molto piccoli, praticamente non visibili a occhio nudo. Può considerarsi una varietà della precedente.

c) Porfidica, originata dalla presenza di grandi cristalli isolati di alcuni minerali (fenocristalli) immersi in una specie di pasta cristallina formata da agglomerazioni di cristalli di grandezza molto più piccola.

d) Microlitica, nella quale, oltre ai grandi fenocristalli, come nel caso anteriore, si nota che il resto della massa cristallina è formata da cristalli microscopici, generalmente allungati (microliti).

e) Pegmatitica, struttura basata sulla giustapposizione di enormi cristalli (perfino dell'ordine di decimetri) di quarzo e

TABELLA 1.1 *Classificazione delle rocce plutoniche secondo Bellair e Pomerol, 1968, p. 88*

Minerali ferromagnesiaci dominanti	Quarzo libero		Senza quarzo libero			Rocce senza feldspati ma con feldspatoidi	Rocce senza quarzo, né feldspati né feldspatoidi
	Feldspato potassico dominante	Plagioclasio dominante	Plagioclasio dominante		Feldspati e/o feldspatoidi		
			Acide	Basiche			
Biotite anfibioli Pirosseni olivina	Granito	Granodiorite	Sienite	Diorite	Gabbro	Sienite nefelinica Iolite	Orneblendite Pirossenite Dunite o Peridotite

feldspato.

1.3.1.3 Classificazione e descrizione delle più importanti. La divisione delle rocce plutoniche viene generalmente fatta in base ai componenti mineralogici delle stesse secondo che contengano un tipo o l'altro di minerali.

Per maggior chiarezza nella classificazione si riproduce un quadro preso da Bellair u Pomerol (1968), nella tabella 1.

GRANITI. Rocce di grana media o grossa di colore chiaro, composte essenzialmente da quarzo, feldspato potassico (ortosa) e mica nera (biotita). Presentano comunemente grandi macchie oscure provocate dall'accumulo di minerali ferromagnesi (pirosseni, anfibioli). Esiste una grande varietà di granelli, derivata principalmente da strutture che si differenziano da quella normale, che è quella granulosa, o per l'abbondanza di minerali accessori che denominano il granito di volta in volta (orneblendico se contiene orneblenda, pirossenico se contiene pirosseno, ecc.). È la roccia più comune della crosta terrestre.

SIENITI. Sono rocce con struttura e aspetto analoghi al granito, se ne differenziano per l'assenza di quarzo e la presenza di anfibioli, che conferisce loro un aspetto più rosato.

DIORITI. Roccia granulosa con feldspati calcosodici (albite, oligoclasio, andesina) e anfibioli, senza quarzo libero, dai colori scuri.

GABBRI. Rocce verdastre o grigio scuro, composte da feldspati del tipo plagioclasici calcici (labradorite, bitownite, anortite) e pirosseno, anche se sovente presentano pure anfibioli, olivini e ossidi di ferro.

PERIDOTITI. Sono rocce senza minerali chiari, assai pesanti, scure, composte essenzialmente da olivino o peridoto, oltre che da un pirosseno.

1.3.1.4 Giacimento. Le rocce plutoniche si presentano abitualmente in natura sotto forma di grandi masse o massicci che

spesso interrompono la monotonia delle rocce circostanti, generalmente in spazi ristretti, formando i cosiddetti batoliti (fig. 1.3) o lacoliti se sono interstratificati tra le rocce circostanti.

1.3.2 Rocce eruttive filoniane

Anche se all'interno della geologia generale occupano un posto importante dovuto ai problemi che pongono in rapporto alla loro origine, in rapporto alle rocce incassanti, trasformazioni che derivano dalle stesse, ecc., nel campo dell'Idrologia sotterranea sono assai poco importanti a causa della scarsa superficie sulla quale si estendono, che ne rendono molto difficile la rappresentazione cartografica, a meno che non si tratti di scale molto piccole.

Questa difficoltà di rappresentazione deriva dal fatto che solitamente si presentano in forma di dicchi di forma generalmente piatta, con una dimensione molto inferiore alle altre due, che attraversano disordinatamente formazioni anteriori.

Tale modo di presentarsi è determinata dall'origine di queste rocce: la cristallizzazione del magma può avvenire a volte durante la sua più o meno veloce ascensione verso la superficie terrestre, approfittando di fenditure, fratture o zone di maggior fragilità strutturale. Ciò fornisce come risultato finale una specie di filone ripieno di questa roccia, con spessori che a volte arrivano a centinaia di metri (anche se più frequentemente sono dell'ordine di soli pochi metri). Questa origine determina la struttura interna delle rocce, producendo strutture pofidiche, aplitiche, pegmatiche, ecc. a seconda della sequenza di cristallizzazione (funzione delle temperature di solidificazione dei diversi componenti) e del tempo che dispone per cristallizzare.

Esistono, indubbiamente, alcuni casi di rocce filoniane in cui non è possibile ammettere una tale origine, in quanto gli affioramenti assumono forma di fuso e non è possibile sup-

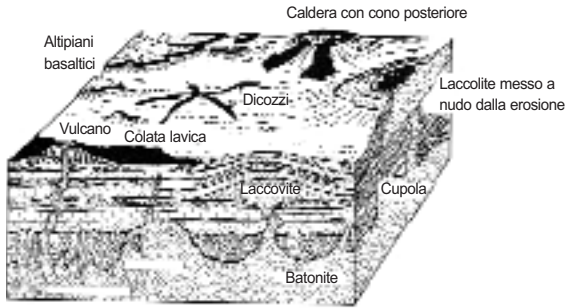


FIGURA 1.3
 Forme di giacimento delle rocce eruttive plutoniche e vulcaniche (preso da Bellair e Pomerol, 1968, p. 104)

porre che un magma asceso in superficie cristallizzi vicino alla superficie stessa. In certi casi è stata ipotizzata un'origine idrotermale di queste rocce.

Per quanto riguarda la composizione mineralogica, si può rimandare a quella delle rocce plutoniche (tavola 1.1) visto che in definitiva l'origine è la stessa, differenziandosi solo per il luogo di cristallizzazione o raffreddamento. Da questo punto di vista, la differenziazione è possibile solo esaminandone la struttura microscopica. Si parla, così, di porfidi granitici (rocce filoniane con la stessa composizione del granito, ma con struttura porfida), di apliti (rocce filoniane con struttura aplite, e stessa composizione di qualsiasi roccia plutonica).

1.3.3 Rocce vulcaniche

1.3.3.1 Formazione. Si è finora parlato di cristallizzazioni di magmi in profondità o nei loro percorsi verso la superficie terrestre. Se la camera magmatica si trova a poca profondità rispetto alla superficie del suolo, è possibile che il magma possa uscire, attraverso un camino verso l'esterno, dando vita a un fenomeno vulcanico, o semplicemente un vulcano, se

raggiunge la superficie o parti più alte della crosta. In questo senso, quindi, la lava vulcanica non è altro che un magma che è riuscito a raggiungere la superficie del terreno, dove si è solidificato con maggiore o minore rapidità. Le rocce derivate da questo fenomeno si chiamano rocce vulcaniche, siano esse lava, ceneri, bombe vulcaniche, ecc.

La realizzazione di un'eruzione vulcanica dipende essenzialmente da due fattori: la viscosità del magma nelle zone vicine alla superficie e il contenuto di prodotti volatili o che si trovano in dissoluzione e possono liberarsi in forma di gas. A causa dell'alta temperatura che ha la lava al momento dell'uscita dal cratere (all'incirca 1.000 gradi centigradi secondo Bellair e Pomerol, 1968, p. 415), la sua viscosità dipende dalla composizione chimica, poiché i magmi acidi o intermedi (ricchi o con apprezzabili proporzioni, di silice libero) sono molto viscosi e si solidificano rapidamente vicino al cratere, arrivando anche a poter ostruire la bocca del vulcano, mentre i basici sono molto fluidi, e si muovono rapidamente verso l'esterno.

Infine, possono prodursi anche depositi vulcanici assai diversi, come le ignibriti, le nubi ardenti, gli agglomerati vulcanici, il tufo, ecc.

1.3.3.2 Struttura. Come si vedrà più avanti, le rocce vulcaniche possono presentarsi sotto due distinti aspetti strutturali:

a) Rocce vulcaniche propriamente dette, formate dal solidificarsi della lava fuoriuscita dal vulcano. In questo caso si possono trovare strutture di tipo microlitico, fluidale (d'aspetto simile a una corrente d'acqua), vitrea (se la lava è amorfa e cristallizza senza un'ordinamento cristallino interno), vacuolare o scoriacea (se contiene grandi quantità di gas che sono stati liberati lasciando allo scoperto grandi buchi o pori), ecc.

b) Rocce piroclastiche, di carattere detritico, formate dall'accumulo di materiali solidi eruttati dal vulcano. Si tratta di particole o pietre di forme e dimensioni assai diverse, che

TAVOLA 1.2 Classificazione delle rocce vulcaniche secondo Bellair e Pomerol, 1968, p. 88

Struttura	Minerale colorato dominante	Quarzo libero		Feldspati potassici dominanti	Senza quarzo libero			Rocce senza feldspati ma con feldspatoidi	Rocce senza Quarzo, né feldspati né feldspatoidi
		Feldspato potassico dominante	Plagioclasio dominante		Plagioclasio dominante		Feldspati e/o feldspatoidi		
					Acide	Basiche			
Microlitica	Biotite anfiboli	Riolite	Dacite	Trachite	Andesite	Labradorite Basalto	Fonolite	Nefelinite e Leucite	Limburgite kimberlite
	Piroseni olivina								
Vetrosa		Pechstein		Ossidiana			Trachiti		

vanno dalle tipiche bombe vulcaniche, fino alle ceneri o lapilli accumulati in generale nelle vicinanze del cratere, con una stratificazione molto caratterizzata dalle diverse cappe, spesso di diverso colore, che corrispondono a diverse eruzioni, o a differenti periodi all'interno di ognuna di esse.

1.3.3.3 Classificazione e descrizione delle più importanti.

Così come abbiamo fatto per le rocce plutoniche, la classificazione delle rocce eruttive vulcaniche propriamente dette avviene in base a criteri mineralogici, eccetto in quei casi nei quali la roccia contiene una parte vitrea o amorfa, in questo caso è precettivo ricorrere all'analisi per conoscerne la composizione. C'è da notare che, come si è detto prima, ogni roccia vulcanica ha una composizione mineralogica simile a quella delle rocce eruttive plutoniche e che dipende dalla loro origine, è per questo che alcuni autori le descrivono assieme (Bellair e Pomerol, 1968, pp. 89 e segg.).

Bisogna però far notare che esiste tutta una serie di nomi per le diverse forme nelle quali si presenta la lava, che si ritrovano comunemente nella letteratura scientifica (lava tipo *a-a*, *pahoehoe*, *lave cordate*), ma che non corrispondono a rocce vulcaniche distinte.

a) ROCCE VULCANICHE PROPRIAMENTE DETTE (tabella 1.2)

Ordinate da maggiore a minore acidità, possono distinguersi:

Rioliti. Rocce vulcaniche con struttura fluidale (da questo il nome) con fenocristalli di quarzo, ortosa (sanidino) e biotite su un fondo granuloso di color chiaro.

Trachiti. Rocce grigie o giallastre, rugose al tatto, con feldspato potassico, plagioclasti sodici e anfiboli e/o pirosseni.

Andesiti. Più rugose ancora delle trachiti, di color grigio o nero, formati da andesite, anfiboli e pirosseni.

Basalti. In generale sono le rocce vulcaniche propriamente dette più abbondanti, di color nero, molto dense, formate principalmente da augite e olivina, con abbondanza di magnetite.

Fonoliti. Caratterizzate da un contenuto medio in silice e fino a un 10% di sodio. I microliti sono spesso allineati (struttura fluidale) e risuonano se vengono battuti.

b) ROCCE VULCANICHE PIROCLASTICHE

Come detto in precedenza, sono frammenti proiettati con violenza verso l'esterno dell'edificio vulcanico e che si accumulano nei dintorni di questo.

I blocchi e le bombe hanno varie dimensioni, ma sono generalmente considerati appartenenti a questa classe solo quelli con dimensioni superiori a 32 mm (Bellair e Pomerol, 1968, p. 442).

I lapilli sono costituiti da frammenti inferiori a 32 mm, di forma irregolare, porosi, a volte vescicolari, mentre quelli in-

feriori ai 4 mm sono classificati come ceneri.

Queste formazioni sono facilmente erodibili, e hanno quindi un carattere molto temporale.

1.3.3.4 Giacimento. In questo tipo di rocce esiste una grande varietà di giacimenti (fig. 1.3), che vanno dalle note colate vulcaniche, formate dal consolidamento delle correnti di lava che fluiscono lungo le pendici del vulcano fino alle pianure o agli altipiani vulcanici tipici del Brasile, passando per cupole e spuntoni se la lava è molto viscosa, come la famosa cupola della Montaña Pelada che si formò nel 1902 e raggiunse 417 m di altezza (Bellair e Pomerol, 1968, p. 432). Bisogna comunque far notare che queste rocce assumono una forma in qualche modo determinata dai rilievi preesistenti, visto che i materiali vulcanici si dispongono sulla superficie del terreno, adattandovisi, anche se a volte si possono accumulare spessori di rocce vulcaniche dell'ordine dei 1.000 m.

1.3.4 Rocce metamorfiche

1.3.4.1 Formazione. Le rocce metamorfiche sono il risultato di profonde trasformazioni di tipo fisico, chimico o chimico-fisico che agiscono su rocce già preesistenti di qualunque tipo. Queste trasformazioni possono avvenire semplicemente nella propria struttura della roccia preesistente, che si riaggiusta alle nuove condizioni di pressione, temperatura e possibili apporti chimici estranei, fino a cambiamenti molto profondi nella stessa, in modo da rendere impossibile il riconoscimento della roccia madre "iniziale".

Tutte queste trasformazioni o modificazioni sono dovute al cosiddetto processo di metamorfismo, che può essere originato da cambiamenti di pressione (*metamorfismo dinamico*), nella temperatura (*metamorfismo termico*), in particolare il cosiddetto contatto, o meglio misto (*metamorfismo termodinamico o regionale*).

La natura di tutti questi processi non è però ancora ben chiarita, a causa soprattutto del fatto che bisogna studiare un cambiamento che avviene in condizioni ipotetiche, o perlomeno supposte, per cui non le daremo molta importanza.

1.3.4.2 Struttura. Una caratteristica importante delle rocce metamorfiche è l'esistenza di strutture assai tipiche, consistenti nel presentare alcuni dei suoi componenti mineralogici orientati in maniera definita, a causa dell'intervento di una forte pressione differenziale su di esse, che obbliga alcuni cristalli a spostarsi e riorganizzarsi fino a trovare una posizione che offra la minima resistenza a detta pressione.

Se l'abbondanza di questi minerali nelle rocce è grande (biotite e muscovite, per esempio, ossia del tipo delle miche), la roccia può arrivare ad assumere una macrostruttura scistosa tipica delle formazioni metamorfiche. Altre volte i cristalli si allineano più o meno regolarmente dando una struttura nodulare, come lo gneis glandulare. Infine, se il fenomeno del metamorfismo è molto intenso, hanno origine rocce compatte, dure, senza apprezzabili particolarità strutturali che non conservano alcun resto delle rocce dalle quali provengono.

1.3.4.3 Classificazione e descrizione delle più importanti.

Non esiste per ora una classificazione mineralogica delle rocce metamorfiche. In effetti, la gran varietà di rocce "iniziali" sulle quali può agire il metamorfismo in assai diversi gradi di intensità, all'interno di ciascuno dei tipi precedentemente menzionati, fa sì che il numero di varietà di rocce "finali" sia molto grande e non si possa stabilire una classificazione chiara e razionale.

Ciò nonostante, si conoscono alcune delle cosiddette serie metamorfiche, originate dagli stadi successivi che raggiunge una roccia all'essere sottoposta a processi metamorfici ogni volta più intensi. Alcune di queste serie vengono riprodotte a titolo informativo nella tabella 1.3 per cui solo dopo si descrivono i grandi tipi di rocce metamorfiche.

Bisogna avvertire che, geologicamente parlando, il vocabolo *lavagna* va riservato a una roccia sedimentaria di natura argillosa che ha subito una forte compressione. Questa parola, però viene volgarmente impiegata per designare ogni tipo di roccia che possieda una disgiunzione, o sfogliamento, molto marcata lungo piani paralleli, dando così origine a una evidente confusione.

Filiti. Rocce con lamine di clorite e sericite che provocano

la comparsa della tipica struttura conosciuta come scistosità. Essendo le prime che appaiono nella loro serie conservano comunque parte della composizione originale della roccia dalla quale derivano. Una varietà sono le filiti satiniate grige o celestine.

Scisti. Si tratta di una passo in avanti nella loro serie, e come tale non presentano resti di materia organica né fossile, anche se il transito fra le precedenti e gli scisti è graduale.

Micascisti. Rocce metamorfiche caratterizzate da grande abbondanza di mica (biotita e muscovita), per cui sono facilmente distinguibili a occhio nudo.

Gneis. Deriva da micascisti, nei quali parte della muscovite si trasforma in feldspato ortosa, passando quindi a essere uno gneis, che contiene del quarzo. Non vi si distinguono segnali di scistosità, ma conserva un certo orientamento nella disposizione dei minerali.

Serpentine. Rocce con struttura reticolare, di color giallo verdastro, compatte e resistenti. Derivano dalla trasformazione delle peridotiti.

Marmi. Sono rocce soprattutto calcaree derivanti dal metamorfismo dei calcari. Sono generalmente di colore chiaro.

Quarziti. Sono rocce molto dure, derivanti dall'alterazione metamorfica delle arenarie, e come tali, si chiamano micacee, tormalifere ecc., a seconda che contengano miche, tormalina ecc.

1.3.4.4 Giacimenti. Tutte queste rocce metamorfiche si trovano generalmente nei massicci geologici più antichi, cosa logica se si tiene conto della loro origine, e come tali si trovano nei nuclei della zone montagnose, raggruppate in enormi masse, certe volte accanto a rocce eruttive e si estendono per vaste aree, come per esempio gli affioramenti di rocce paleozoiche metamorfiche del Tibidabo (Barcellona), la zona assiale pirenaica, la zona granitica o gneissica di Galizia, ecc.

TAVOLA 1.3 *Rocce metamorfiche di diverse serie in funzione dell'intensità del metamorfismo (secondo Bellair e Pomerol, 1968, p. 175)*

	Rocce sedimentarie				Rocce vulcaniche	
	Serie argillosa	Serie arenacea	Serie calcarea	Serie calcareo-argillosa	Serie granitica	Serie gabbro-dioritica
Roccia madre	Argille Filiti	Arenarie Quarziti	Calcari e dolomie Marmi e Cipollini	Marme	Graniti Protogino	Gabbri
Intensità crescente di metamorfismo	Sericiti e Cloriti Micascisti a due miche Gneiss a due miche Gneiss con biotite	Leptiniti	Serpentine (se c'è del Mg)	Prassiniti Anfiboliti e Piroxeniti	Ortogneiss e Ortoteptiniti	Anfiboliti e Piroxeniti