

PERFORAZIONI A SCOPO GEOTECNICO E TECNICHE DI CONSOLIDAMENTO

Maurizio Tanzini

Caratterizzazione geologica, idrogeologica e geotecnica

Scheda sul sito >

*A mio padre Walter
che m'insegnò la passione per lo studio
della Geotecnica e l'importanza
del rigore morale e professionale*

MAURIZIO TANZINI

PERFORAZIONI A SCOPO GEOTECNICO E TECNICHE DI CONSOLIDAMENTO



Dario Flaccovio Editore

Maurizio Tanzini

PERFORAZIONI A SCOPO GEOTECNICO E TECNICHE DI CONSOLIDAMENTO

ISBN 978-88-579-0151-0

© 2012 by Dario Flaccovio Editore s.r.l. - tel. 0916700686

www.darioflaccovio.it info@darioflaccovio.it

Prima edizione: settembre 2012

Tanzini, Maurizio <1955->

Perforazioni a scopo geotecnico e tecniche di consolidamento : caratterizzazione geologica, idrogeologica e geotecnica / Maurizio Tanzini. - Palermo : D. Flaccovio, 2012.

ISBN 978-88-579-0151-0

I. Geotecnica.

624.152 CDD-22

SBN Pal0247030

CIP - Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"

Stampa: Tipografia Priulla, settembre 2012

Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.

L'editore dichiara la propria disponibilità ad adempiere agli obblighi di legge nei confronti degli aventi diritto sulle opere riprodotte.

La fotocopiatura dei libri è un reato.

Le fotocopie per uso personale del lettore possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascun volume/fascicolo di periodico dietro pagamento alla SIAE del compenso previsto dall'art. 68, commi 4 e 5, della legge 22 aprile 1941 n. 633. Le riproduzioni effettuate per finalità di carattere professionale, economico o commerciale o comunque per uso diverso da quello personale possono essere effettuate solo a seguito di specifica autorizzazione rilasciata dagli aventi diritto/dall'editore.

INDICE

Introduzione.....	pag. 11
1. Geologia e geomeccanica delle perforazioni	
1.1. Importanza della conoscenza della geologia	» 15
1.2. L'interno della Terra	» 17
1.3. Le formazioni geologiche	» 18
1.4. Divisioni geologiche	» 19
1.5. Le rocce	» 19
1.5.1. La litologia.....	» 19
1.5.2. Le rocce ignee.....	» 21
1.5.3. Le rocce sedimentarie	» 26
1.5.4. Le rocce metamorfiche	» 31
1.6. Caratteri dei terreni e delle rocce più comuni e perforazioni	» 33
1.6.1. Argille.....	» 33
1.6.2. Sabbie.....	» 35
1.6.3. Argille sabbiose	» 35
1.6.4. Marne.....	» 36
1.6.5. Arenarie	» 37
1.6.6. Ghiaie.....	» 38
1.6.7. Conglomerati e brecce.....	» 39
1.6.8. Calcari.....	» 39
1.6.9. Dolomie	» 40
1.6.10. Trachiti.....	» 40
1.6.11. Serpentiniti	» 40
1.6.12. Basalti	» 41
1.6.13. Graniti.....	» 41
1.7. Stratigrafia – Tettonica.....	» 41
1.8. Resistenza dei terreni e delle rocce e stabilità delle pareti di una perforazione	» 46
1.8.1. La roccia intatta.....	» 46
1.8.2. Classificazione della roccia integra.....	» 47
1.8.3. Lo stato tensionale nell'intorno di una perforazione	» 56
2. Fluidi di perforazione	
2.1. Generalità	» 63
2.2. Proprietà del fango	» 64
2.3. Effetti del fango.....	» 69
2.4. Confezione e correzione del fango.....	» 75
2.5. Fanghi al glicole	» 79
3. Perforazioni dei terreni e delle rocce	
3.1. Generalità	» 81
3.2. Perforazioni eseguite con elica	» 81

Perforazioni a scopo geotecnico e tecniche di consolidamento

3.2.1.	Trivellazioni a mano a rotazione e percussione senza capra	»	82
3.2.2.	Trivellazioni a mano con la capra	»	83
3.2.3.	Perforazioni con trivella	»	86
3.3.	Generalità sui metodi di perforazione meccanica	»	90
3.3.1.	Perforazione	»	90
3.3.2.	Perforazione a secco	»	90
3.3.3.	Perforazione idraulica	»	92
3.4.	Attrezzi e tecnica della perforazione	»	97
3.4.1.	Perforazione a secco	»	97
3.4.2.	Perforazione idraulica	»	102
3.4.3.	Perforazione <i>rotary</i>	»	106
3.4.4.	Perforazione con martello a fondo foro (DTH)	»	111
3.4.5.	Perforazione <i>rotary</i> a vibrazione (o perforazione sonica)	»	117
3.4.6.	Perforazione wire-line	»	118
3.4.7.	Sistemi di perforazione ODEX per DTH	»	120
3.4.8.	Sistema di punte ad anello permanenti Symmetrix per DTH	»	120

4. Scelta del metodo di perforazione**5. Macchine e tecnica della perforazione**

5.1.	Cenni introduttivi	»	131
5.2.	Perforazione a secco	»	133
5.3.	Perforazione idraulica a percussione	»	134
5.4.	Perforazione rotativa	»	137
5.5.	Perforazione in galleria ed opere in sotterraneo	»	142

6. Esecuzione delle perforazioni

6.1.	Cenni introduttivi	»	151
6.2.	Corone	»	154
6.2.1.	Corone al widia	»	154
6.3.	Perforazione idraulica	»	164
6.4.	Sondaggi direzionati e perforazioni guidate	»	170
6.5.	Perforazioni sotto falda	»	173
6.6.	Perforazioni per pali e per jet grouting	»	176
6.6.1.	Dal palo trivellato ai pali CFA, CAP e CSP	»	176
6.6.2.	Applicazioni innovative del jet grouting	»	182
6.6.2.1.	Esempio di applicazione di una speciale tecnica di consolidamento con jet grouting per lo scavo di una galleria di grandi dimensioni	»	183
6.6.2.2.	Innovazioni nella tecnica del jet grouting: ETJ (Enhanced Trevi Jet Grouting)	»	188
6.7.	Registrazione dei parametri di perforazione	»	189
6.8.	Descrizione geomeccanica delle carote di sondaggio	»	194

7. Caratteristiche geometriche delle perforazioni

7.1. Generalità	» 209
7.2. Misura dell'inclinazione di un foro	» 209
7.3. Sistemi moderni e computerizzati per la misura della deviazione e inclinazione di un foro	» 212

8. Rivestimenti delle perforazioni**9. Perforazioni e strumentazione**

9.1. Generalità	» 231
9.2. Piezometri	» 231
9.2.1. Tubi piezometrici	» 232
9.2.2. Piezometri idraulici	» 233
9.2.3. Piezometri pneumatici	» 233
9.2.4. Piezometri elettropneumatici	» 234
9.2.5. Piezometri a corda vibrante ed elettrici	» 235
9.2.6. Piezometri installati nei sondaggi con completa iniezione del foro ...	» 236
9.2.6.1. Premessa	» 236
9.2.6.2. Perché utilizzare un riempimento di sabbia	» 236
9.2.6.3. Perché utilizzare un convenzionale riempimento di bentonite	» 237
9.2.6.4. Inquadramento teorico e risultati sperimentali dimenticati	» 238
9.2.6.5. Teoria ignorata	» 238
9.2.6.6. Considerazioni fondamentali sulle miscele di acqua, cemento e bentonite	» 239
9.2.6.7. Considerazioni sulla resistenza e la deformabilità	» 240
9.2.6.8. Installazione di piezometri in fori mediante completa iniezione del foro	» 241
9.2.6.9. Installazione di piezometri multipli in fori con iniezione di miscela cemento-bentonite	» 243
9.3. Inclinatori	» 246
9.3.1. Misure	» 248
9.3.2. Elaborazione dei dati	» 251
9.3.3. Presentazione dei risultati	» 253
9.4. Estensimetri e assestimetri	» 253
9.4.1. Estensimetri	» 253
9.4.1.1. Estensimetro multibase da foro	» 254
9.4.1.2. Estensimetro incrementale	» 255
9.4.2. Assestimetri	» 259
9.5. Esempi di specifiche di installazione di strumentazione in perforazioni	» 260
9.5.1. Piezometro a tubo aperto	» 260
9.5.2. Piezometro tipo Casagrande	» 262
9.5.3. Piezometro elettrico	» 264
9.5.4. Tubo inclinometrico	» 266
9.5.5. Catena inclinometrica fissa	» 270

Perforazioni a scopo geotecnico e tecniche di consolidamento

9.5.6. Tubazione per misura estensimetrica incrementale tipo INCREX.....	»	272
9.5.7. Tubazione per misura estensimetrica incrementale tipo ISETH o estenso-inclinometrica tipo TRIVEC.....	»	275
9.5.8. Estensimetro ad aste.....	»	278

10. Campionamento dei terreni e delle rocce

10.1. Premessa.....	»	281
10.2. Storia dello stato tensionale durante il campionamento.....	»	281
10.3. Requisiti di qualità del campione indisturbato.....	»	283
10.4. Disturbo del terreno provocato dalla perforazione.....	»	285
10.5. Pulizia del fondo foro.....	»	286
10.6. Campionatori: generalità.....	»	286
10.7. Requisiti dei campionatori.....	»	290
10.7.1. Premesse.....	»	290
10.7.2. Coefficiente di parete (<i>area ratio</i>).....	»	290
10.7.3. Coefficiente di ingresso (<i>inside clearance ratio</i>).....	»	291
10.7.4. Coefficiente di attrito esterno (<i>outside clearance ratio</i>).....	»	291
10.7.5. Angolo di taglio della scarpa.....	»	292
10.7.6. Lunghezza del campione.....	»	292
10.7.7. Diametro del campione.....	»	293
10.8. Campionatori.....	»	294
10.8.1. Campionatori aperti.....	»	294
10.8.2. Campionatori a pistone.....	»	297
10.8.3. Campionatori in roccia.....	»	300

11. Indagini in foro di sondaggio

11.1. Generalità.....	»	313
11.2. Carotaggi elettrici.....	»	314
11.2.1. Considerazioni preliminari sulla resistività dei terreni.....	»	314
11.2.2. Sondaggi elettrici verticali.....	»	316
11.2.3. <i>Microlog</i>	»	318
11.3. Carotaggi radioattivi.....	»	320
11.4. Carotaggi sonici.....	»	322
11.4.1. Rilievo di carotaggio sonico in perforazioni.....	»	322
11.4.2. Rilievo di tomografia sonica.....	»	324
11.5. Prospezioni con sonda televisiva.....	»	326
11.6. Controllo del diametro della perforazione.....	»	332
11.7. Rilievi gravimetrici, magnetici ed elettromagnetici.....	»	332
11.8. Misuratori di portata.....	»	334
11.9. Determinazione delle caratteristiche idrauliche degli ammassi rocciosi.....	»	337
11.10. Misura dello stato di sollecitazione originario mediante fratturazione idraulica.....	»	341
11.11. Determinazione delle caratteristiche meccaniche dell'ammasso roccioso ...	»	343

12. Perforazioni e rinforzo dei terreni e delle rocce

12.1. Inquadramento idrogeologico e geomeccanico.....	»	347
---	---	-----

12.1.1. Premessa	» 347
12.1.2. Permeabilità dell'ammasso roccioso	» 352
12.1.3. Proprietà idrauliche delle fratture	» 355
12.1.4. Approccio metodologico all'analisi del flusso idraulico in mezzi rocciosi fratturati	» 372
12.1.5. Caratteristiche di permeabilità degli ammassi rocciosi	» 378
12.1.5.1. Prove Lugeon.....	» 380
12.1.5.2. Prove nei piezometri.....	» 397
12.1.5.3. Misure a grande scala.....	» 398
12.1.5.4. Analisi del profilo della falda	» 399
12.1.5.5. Metodi indiretti	» 400
12.1.5.6. Classificazione di Ewert.....	» 400
12.1.6. Approccio proposto da Barton	» 405
12.2. Interventi di miglioramento del terreno e delle rocce fratturate mediante iniezioni	» 416
12.2.1. Iniezioni nel terreno.....	» 416
12.2.2. Principi, miscele e tecniche d'iniezione	» 419
12.2.3. Iniezione dei mezzi porosi	» 431
12.2.4. Iniezione per permeazione o impregnazione	» 437
12.2.5. Iniezione di compattazione (<i>compaction grouting</i>)	» 438
12.2.6. Iniezione per microfratturazione.....	» 439
12.2.7. Iniezione in rocce fratturate	» 440
12.2.7.1. Proprietà della miscela di iniezione	» 445
12.2.7.2. Materiali per iniezione e scelta del rapporto acqua/cemento	» 451
12.2.7.3. Scelta della pressione di iniezione	» 456
12.2.7.4. Andamento e controllo dell'iniezione.....	» 457
12.3. Gettiniezione (<i>jet grouting</i>)	» 462
12.4. Controlli in corso d'opera.....	» 469
 13. Perforazioni e tunnelling	
13.1. Mini e microtunnelling	» 475
13.2. <i>Raise borer</i>	» 484
13.3. <i>Tunnel Boring Machine</i> (TBM).....	» 488
13.3.1. Schemi classificativi	» 489
13.3.2. Scavo meccanizzato con TBM a piena sezione in ammassi rocciosi..	» 491
13.3.3. Scavo meccanizzato con TBM a piena sezione nei terreni	» 502
13.3.4. Condizioni per lo scavo meccanizzato	» 514
13.3.5. Calcolo della spinta necessaria per l'avanzamento di una tbm scudata	» 519
 Bibliografia	» 523

INTRODUZIONE

Le perforazioni assumono un ruolo di fondamentale importanza nell'ambito dell'ingegneria civile e geotecnica. Ogni tipo di opera geotecnica, a partire dalle fasi della progettazione e durante la costruzione dell'opera, è, infatti, basata sull'impiego delle perforazioni.

Nella fase progettuale le perforazioni di sondaggio (comunemente denominate *sondaggi*) hanno lo scopo fondamentale di:

- ricostruire il profilo stratigrafico mediante l'esame dei campioni estratti;
- consentire il prelievo di campioni per la determinazione delle proprietà fisiche e meccaniche;
- consentire l'esecuzione di rilievi e misure sulle acque sotterranee;
- consentire, mediante l'esecuzione di prove in sito, la determinazione delle proprietà geotecniche del terreno.

Nella fase costruttiva le perforazioni sono utilizzate dalle diverse tecnologie costruttive per la realizzazione delle più frequenti opere geotecniche quali quelle relative al contenimento del terreno (paratie di pali, di micropali, paratie in jet grouting colonnare, diaframmi continui, etc.), alle fondazioni profonde (pali trivellati di piccolo, medio o grande diametro, colonne di jet grouting, elementi di diaframma, etc.) e allo scavo delle gallerie e opere in sotterraneo.

Conseguentemente, le perforazioni e lo sviluppo tecnologico legato alle perforazioni assume un'importanza fondamentale per una corretta progettazione e applicazione dei principi della meccanica dei terreni e delle rocce e, durante la fase costruttiva, per realizzare le opere geotecniche e le importanti infrastrutture.

È inoltre indispensabile che la realizzazione delle perforazioni sia condotta con attrezzature adeguate e con personale competente e preparato per la corretta realizzazione dell'opera, oltretutto per il rispetto dei costi e dei tempi dell'appalto.

Purtroppo, tuttora, nonostante la diffusione dei principi dell'ingegneria geotecnica, si riscontra molto spesso, soprattutto nei committenti e nei ruoli di maggiore responsabilità per la promozione delle infrastrutture, una scarsa comprensione dell'importanza che le indagini geotecniche, a partire proprio dalle perforazioni, siano realizzate nel migliore dei modi, vale a dire che si tende a sottovalutare che il costo dell'indagine, consistente in sondaggi e prove di laboratorio e in sito, è largamente compensato dal fatto che consente uno studio d'ottimizzazione del progetto della fondazione o dell'opera geotecnica riducendo il rischio di insuccessi. Nulla quindi di più costoso che le economie negli accertamenti geotecnici.

Un altro aspetto sul quale porre l'attenzione è la sempre maggiore necessità che nei vari capitolati e norme tecniche d'appalto vengano fornite indicazioni e richieste sempre più rigorose sull'impiego di attrezzature moderne e all'avanguardia e che vengano trovate modalità di appalto idonee per garantire la presenza di una direzione lavori con la competenza e preparazione sufficiente a garantire la corretta esecuzione delle lavorazioni geotecniche.

Tutt'oggi, infatti, anche a causa del persistere delle modalità di appaltare i lavori geotecnici con la folle regola del "massimo ribasso", si registra un impressionante incremento dei dissesti per cattiva esecuzione sia in corso d'opera, in modo particolare per quanto concerne le gallerie, sia in esercizio, soprattutto nel caso di opere di fondazione.

A questo riguardo, è sempre attuale e dovrebbe rappresentare un monito importante per ogni addetto ai lavori quanto scriveva il prof. Carlo Cestelli Guidi (1981) sui dissesti per cattiva esecuzione: "Dopo la precedente casistica di dissesti di opere per insidia geologica e geotecnica, non si può tacere sui dissesti dovuti a cattiva esecuzione delle strutture di fondazione. Tale causa è molto più frequente di quanto si creda e questo è spiegabile, perché, purtroppo, il terreno è opaco e quando si lavora senza vedere, operando dalla superficie del suolo, certamente vi sono maggiori probabilità di cattiva esecuzione che non per strutture eseguite alla luce del sole. Troppo spesso allora si attribuisce la colpa al terreno invocando, anche, a sproposito, la sorpresa geologica.

La buona esecuzione di pali, palancole, iniezioni, tiranti, è enormemente soggetta alla abilità e diligenza di chi li esegue materialmente e molti insuccessi, sono appunto dovuti a cattiva esecuzione."

In conclusione, rimanendo strettamente nel settore dell'ingegneria geotecnica, è auspicabile che gli enormi progressi tecnologici nel campo delle perforazioni e che nella presente pubblicazione sono riportati e menzionati riportando la fonte (anche allo scopo di mettere in grado il lettore di identificare le società costruttrici all'avanguardia e che stanno contribuendo, in questo momento particolarmente difficile, a tenere alto il nome delle capacità e competenze del nostro Paese nel mondo, nel settore dei lavori specialistici di tipo geotecnico), possano contribuire al rilancio e allo sviluppo del settore dell'ingegneria geotecnica.

Infine, più in generale, si possono elencare i seguenti scopi principali delle perforazioni:

- scientifico: studio dei terreni da attraversare, dal punto di vista geologico e mineralogico, per la conoscenza della natura e della successione dei diversi orizzonti;
- esplorativo: per la ricerca e la valutazione di minerali industrialmente interessanti, onde stabilire la natura, la potenza e il presumibile rendimento del giacimento;
- scopi speciali: aerazione di gallerie, in sostituzione o a sussidio di impianti a ricambio forzato d'aria; drenaggio o assorbimento di acque ingombranti o dannose; fondazioni; iniezioni di acqua o gas per la coltivazione secondaria di giacimenti di petrolio; consolidazione di strati con iniezioni di cemento, etc.;
- di coltivazione, nel caso di minerali fluidi (acqua, petrolio, gas, vapor d'acqua) contenuti nelle viscere della Terra: i quali appunto, salvo casi speciali, non possono essere ricercati e raggiunti che con sondaggi, e non possono essere sfruttati che con mezzi governati dall'esterno.

La presente pubblicazione sulle perforazioni completa una disamina di tutte le pro-

blematiche di tipo geotecnico, trattate nelle seguenti altre pubblicazioni che sono state pubblicate dalla casa editrice Dario Flaccovio, che colgo l'occasione di ringraziare per la stima e fiducia che mi ha voluto accordare:

- Fenomeni franosi e opere di stabilizzazione.
- Gallerie: aspetti geotecnici nella progettazione e costruzione.
- L'indagine Geotecnica.
- Micropali e pali di piccolo diametro.
- Fondazioni: caratterizzazione geotecnica, verifiche geotecniche, dimensionamento.
- Scavo meccanizzato: opere sotterranee e gallerie.
- Il Manuale del Geotecnico.

1. GEOLOGIA E GEOMECCANICA DELLE PERFORAZIONI

1.1. Importanza della conoscenza della geologia

La geologia è la scienza che ha per obiettivo lo studio della Terra per quanto attiene alla sua attuale struttura, alla sua storia analizzata in relazione alle sue origini, alle evoluzioni e successive trasformazioni attraverso ere, periodi, epoche, etc., la cui durata riguarda sequele di milioni d'anni. Essa può dividersi in geologia meccanica e in geologia storica. La geologia meccanica, a sua volta, può essere divisa in tettonica che considera la disposizione delle rocce sulla crosta terrestre; in litologia che riguarda lo studio delle rocce e, sotto un aspetto più particolare, in petrogenesi che considera la formazione delle rocce stesse; in morfologia che considera lo studio della Terra nelle sue attuali condizioni; in dinamica che riguarda lo studio delle forze che modificano la Terra; in geodinamica che riguarda le forze che operano nell'interno della Terra.

La geologia storica comprende invece la stratigrafia che è lo studio della storia del globo terrestre attraverso le osservazioni esperite sulle rocce stratificate, sui fossili, etc.; la orogenia che riguarda la trasformazione della crosta terrestre e l'origine della forma esteriore del suolo e infine la paleontologia che studia le piante e gli esseri vissuti in epoche remote.

Gli agenti geologici che producono effetti fisici o meccanici atti a trasformare l'aspetto e la costituzione della Terra come calore, acqua, elementi paleontologici, gravità, etc., si dicono forze esogene se agiscono alla superficie e forze endogene se, viceversa, agiscono all'interno della Terra.

Ciò premesso, la geologia è il fattore fondamentale per ogni decisione in materia di perforazioni: a partire dal motivo per il quale una perforazione viene eseguita in un particolare sito (terreno, acqua, minerali) alla scelta del sistema e degli attrezzi di perforazione. Così come un falegname trae beneficio dalla conoscenza delle caratteristiche dei differenti tipi di legname (orientazione dei grani, flessibilità, durezza, etc.), è importante per chi si occupa di perforazioni conoscere i terreni e le rocce che saranno interessate dalle perforazioni. Nella scelta del sistema di perforazione, per raggiungere risultati accettabili sia dal punto di vista economico sia tecnico, la conoscenza della geologia costituisce un aspetto di cruciale importanza. Le attrezzature di perforazione sono molto costose e non c'è un unico metodo e sistema di perforazione ideale per ogni condizione di perforazione. Se il sistema di perforazione scelto, previsto e indicato risulta errato per le finalità della campagna di perforazioni, l'impresa alla quale vengono affidate le perforazioni potrebbe trovarsi ad affrontare ostacoli anche insormontabili, a partire dal rispetto dei tempi indicati per la realizzazione delle perforazioni.

Per scegliere gli utensili e i sistemi di perforazione, occorre adottare dei metodi che siano idonei alle formazioni geologiche interessate dalle perforazioni. Differenti sistemi di perforazione e conseguenti utensili di perforazione possono avanzare nel foro in maniera diversa. Per la scelta del metodo di perforazione più idoneo, la prima cosa da conoscere relativamente alla formazione geologica interessata è qual è il modo migliore per, a seconda delle finalità delle perforazioni, frantumarla, tagliarla o carotarla. Questo dipende fondamentalmente dal tipo di litotipo e dalle conseguenti condizioni geomeccaniche.

È noto dall'esperienza che differenti materiali si rompono diversamente, basti pensare ad un bicchiere di vetro, ai vetri o alle gomme di una macchina. Anche le formazioni geologiche si "rompono" in maniera differente e un errato utensile di perforazione può causare un avanzamento lento o difficoltoso, o, addirittura, non riuscire ad avanzare nel corso di una perforazione. Oltre a frantumare o carotare il materiale, il sistema di perforazione deve permettere di ottenere nel caso di frantumazione del materiale di dimensioni tali da essere in grado di poter essere estratto in continuità.

Una conoscenza adeguata della geologia aiuta inoltre in molti altri aspetti quali:

- migliore comprensione delle esigenze del consulente o cliente. Molti geologi parlano e si esprimono spesso in un vero e proprio specifico gergo tecnico. I termini che usano hanno un preciso significato e scopo. Essi devono svolgere definiti compiti e raccogliere precise informazioni al sito. Poiché il tempo è denaro, essi non possono perdere tempo per altri problemi sottovalutati dall'impresa che dovrà eseguire le perforazioni come nel caso dell'adozione di attrezzature rumorose o di problemi relativi a interferenze delle attrezzature impiegate con le condizioni del sito dove si deve operare;
- valutazione delle specifiche tecniche per una campagna di perforazioni e per la preparazione dell'offerta: se si è in grado di interpretare il linguaggio tecnico della specifica tecnica, può essere fatta una scelta e proposta operativa con maggiore cognizione di fatto sui metodi e attrezzature da proporre per l'offerta tecnico-economica e per la pianificazione del lavoro;
- maggiore capacità di fornire le tutte le necessarie indicazioni e informazioni. Molte delle frustrazioni dei geologi nell'utilizzare le informazioni fornite dall'impresa che esegue le perforazioni sono spesso legate alla necessità di interpretare e tradurre la terminologia e il linguaggio utilizzato da chi esegue le perforazioni a quelle specifiche dei geologi. Se chi esegue le perforazioni ha un'approfondita conoscenza delle formazioni geologiche che devono essere attraversate, nonché la loro posizione e le loro caratteristiche, può fornire informazioni maggiormente utili allo stesso geologo sulle condizioni stratigrafiche effettivamente incontrate durante le perforazioni eseguite;
- conoscenza delle finalità delle perforazioni relativamente a che cosa si intende cercare o a cosa ci si aspetta di trovare. Il geologo non è detto che sia sempre presente, durante l'intera campagna di perforazioni, per poter constatare direttamente le condizioni dei terreni; conseguentemente, le informazioni disponibili al geologo o all'ingegnere, una volta terminate le perforazioni, potrebbero risultare incomplete o non del tutto corrette. Per esempio, se si sta eseguendo una perforazione per la realizzazione di un pozzo per acqua potabile, occorre conoscere:

- se è necessario e a quale profondità occorre mettere in opera il tratto finestrato;
- a quale profondità occorre spingere il pozzo;
- se occorre perforare o iniettare nel caso della presenza di una falda artesianica;
- è l'ubicazione scelta o quella possibile effettivamente idonea o la migliore per la realizzazione della perforazione.

Inoltre, una buona conoscenza della geologia aiuta a migliorare le relazioni e le consultazioni con il committente. Se il committente o consulente sa che l'interlocutore ha una buona conoscenza della geologia, si può instaurare una migliore confidenza e collaborazione reciproca.

Il presente capitolo pertanto fornisce alcune elementi di base per quanto concerne la geologia e la geomeccanica.

1.2. L'interno della Terra

Il globo terrestre ha un raggio medio di circa 6371 km e una densità (peso specifico rispetto all'acqua) di 5.5. Il suo interno lo si conosce solo per uno spessore minimo (alcuni chilometri); la sua composizione può essere dedotta dai dati della geofisica, ma a tal proposito esistono varie teorie. Le principali comunque prendono in considerazione un nucleo e due involucri concentrici (figura 1.1).

Il nucleo ha un raggio prossimo a 3500 km, pari a poco più della metà del raggio totale: questo dato si deduce dalla media di varie misure ottenute dai geofisici studiando la propagazione delle onde sismiche che vengono registrate in vari punti del globo. Secondo una teoria classica, il nucleo terrestre sarebbe composto da una lega di ferro e di nichel.

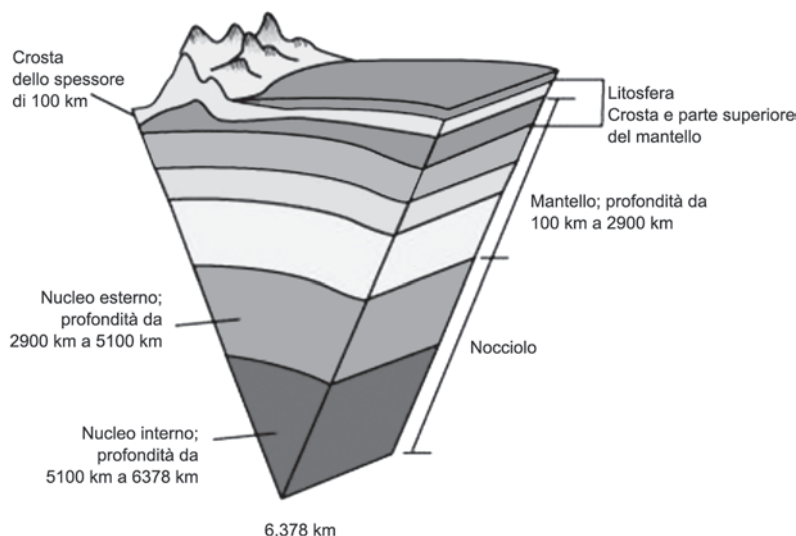


Figura 1.1. Costituzione interna del globo terrestre; 1 = nucleo interno solido, 2 = nucleo esterno fuso, 3 = mantello inferiore rigido, 4 = mantello superiore, plastico, sede dei movimenti convettivi (3 e 4 corrispondono al vecchio termine sima), 5 = crosta formata da rocce granitiche, metamorfiche e sedimentarie (già note come sial) e da un sottostante strato rigido di rocce femiche (fonte: Kenneth, Hamblin, 1985)

Il grosso involucro che riveste il nucleo è il mantello, già noto come SIMA perché formato da pesanti silicati di magnesio (Si-Ma), con densità di 4 o poco più nella parte interna, per la presenza di abbondanti composti di Fe; verso l'esterno invece la densità decresce fino a circa 3. Il mantello ha uno spessore poco inferiore ai 3000 km e per buona parte del suo spessore dovrebbe essere allo stato fuso.

La crosta solida esterna, o litosfera, è formata da prevalenti silicati di Al (SIAL) e altri metalli; essa è solida (escluse le sacche granitiche fuse), ha una densità media di circa 2.7 e il suo spessore è variabile da luogo a luogo: 30 km circa sotto le piatte distese continentali, molto di più sotto le catene montuose, molto meno (qualche km) in corrispondenza dei grandi fondi oceanici. Il limite fra la crosta solida e il SIMA fuso è rivelato, in ogni punto del globo, da una brusca variazione di comportamento delle onde sismiche; la superficie che separa la crosta dal mantello è stata identificata per la prima volta dal geofisico jugoslavo Mohorovicic ed è indicata brevemente con il nome di MOHO.

Il globo terrestre si comporta come un magnete; i poli nord e sud magnetici non coincidono con quelli geografici, ma sono spostati, con un angolo variabile sia nel tempo che da luogo a luogo.

Scendendo nelle viscere della Terra, la temperatura aumenta, tanto che si crede che il mantello e il nucleo siano fusi: qualsiasi roccia, a pressione normale, fonde a temperature comprese fra i 900 e i 1500 gradi; naturalmente, le forti pressioni esistenti in profondità aumentano tali valori. Il grado geotermico è l'aumento di profondità al quale corrisponde l'aumento di temperatura di 1 °C, mentre il gradiente geotermico è l'aumento di temperatura per ogni 100 m di profondità. In media, nella parte accessibile all'uomo o alle sonde di perforazione (circa 8000 m), l'aumento di temperatura è di 3 °C ogni 100 m; ma questo valore aumenta o diminuisce secondo la presenza o meno di una sacca magmatica fusa, di acque calde o fredde che circolano nel sottosuolo, del potere di maggiore o minore dispersione termica delle varie rocce, dell'abbondanza o scarsità di materiale radioattivo.

1.3. Le formazioni geologiche

Per *formazione geologica* s'intende un complesso litoide esteso, relativo a un medesimo tempo della storia della Terra oppure formatosi per cause genetiche analoghe. Relativamente alla cronologia avremo, ad esempio, formazioni quaternarie, terziarie, pleistoceniche, eoceniche, carboniane, etc., mentre relativamente alla stessa natura litologica avremo formazioni gneissiche, basaltiche, etc.; relativamente alla dislocazione avremo formazioni fluviali, continentali, etc.

In relazione ai problemi di costruzione in genere, qualsiasi formazione geologica che possa essere intesa come parte costituente della superficie della Terra, sia che essa si presenti come unità geologicamente indipendente derivante dalla stessa evoluzione di formazione sia che essa si presenti in masse incoerenti formate dal lento disgregamento delle rocce, e cioè, qualsiasi formazione minerale coerente oppure incoerente, considerata nella sua sede naturale, che presenti una costituzione omogenea e ben definita da cui si possa facilmente rilevarne le particolari caratteristiche fisico-meccaniche, si chiama terreno mentre si chiama terra, secondo la terminologia comune, la superficie della crosta terrestre che emerge al di sopra del livello del mare

1.4. Divisioni geologiche

Le divisioni cardinali impiegate nella geologia storica, limitatamente alle ere e ai periodi, sono riportate nella tabella 1.1.

Tabella 1.1. Ere geologiche e avvenimenti essenziali nel corso delle ere geologiche; nella terza colonna sono indicate, in milioni di anni, le età dei limiti tra due periodi

Era	Periodo	Milioni di anni
Archeozoica o Arcaica (l'era in cui compaiono le prime tracce di vita)	Archeano	4500
	Algonchiano	1000
Primaria o Paleozoica (l'era in cui compaiono nel regno animale i crostacei, i pesci, gli anfibi, nel regno vegetale le alghe, le crittogame, le conifere, etc. Formazione del carbone fossile)	Cambrico	600
	Silurico	550
	Devonico	440
	Carbonifero	345
	Permico	280
Secondaria o Mesozoica (l'era in cui compaiono i primi mammiferi e i primi uccelli. Gli ittiosauri e plesiosauri, pterodattili, etc. Molto sviluppate le ammoniti con conchiglia esterna. Compaiono le prime piante angiosperme)	Triassico	225
	Giurassico	195
	Cretacico	136
Terziaria o Cenozoica (l'era in cui la Terra va raggiungendo l'attuale configurazione e si stabiliscono le attuali zone climatiche. Primi ghiacci. Avvicinamento alle forme attuali dei mammiferi e delle piante. Primi sintomi della presenza dell'uomo sulla Terra)	Eocene	70
	Oligocene	38
	Miocene	26
	Pliocene	7
Quaternaria o Neozoica (l'era in cui si ebbe regime idrografico molto più abbondante dell'attuale e grande espansione dei ghiacciai. Animali oggi estinti: mammuti, mastodonti, etc. Presenza dell'uomo)	Pleistocene Olocene (periodo in cui viviamo)	2 0.01

1.5. Le rocce

1.5.1. La litologia

La litologia si identifica praticamente con la *petrografia* o *petrologia*; questi termini indicano una scienza che studia la composizione e la genesi delle varie rocce, nonché la trasformazione che esse hanno subito nel tempo; a tale scopo vengono presi in considerazione non solo gli elementi macroscopici di ogni roccia, ma anche gli elementi microscopici e i caratteri chimici e fisici di essa.

Le rocce possono essere raggruppate in tre categorie ben distinte come genesi:

- rocce ignee o magmatiche;
- rocce sedimentarie;
- rocce metamorfiche.

Le prime due hanno una genesi ben precisa, o primaria, mentre le rocce metamorfiche derivano da trasformazioni delle altre rocce (ignee o sedimentarie), per fenomeno che possono intervenire anche dopo decine o centinaia di milioni di anni; le trasformazioni sono così profonde che spesso non è possibile stabilire il tipo di roccia originaria dalla quale deriva la roccia metamorfica. A prima vista le rocce sembrano immutabili; ma nel tempo geologico esse sono grandi corpi a durata temporanea. Le masse lapidee vengono demolite dagli agenti esogeni e rideposte in frammenti che formeranno nuovi sedimenti. Durante la formazione di nuove catene montuose, esse possono essere porta-

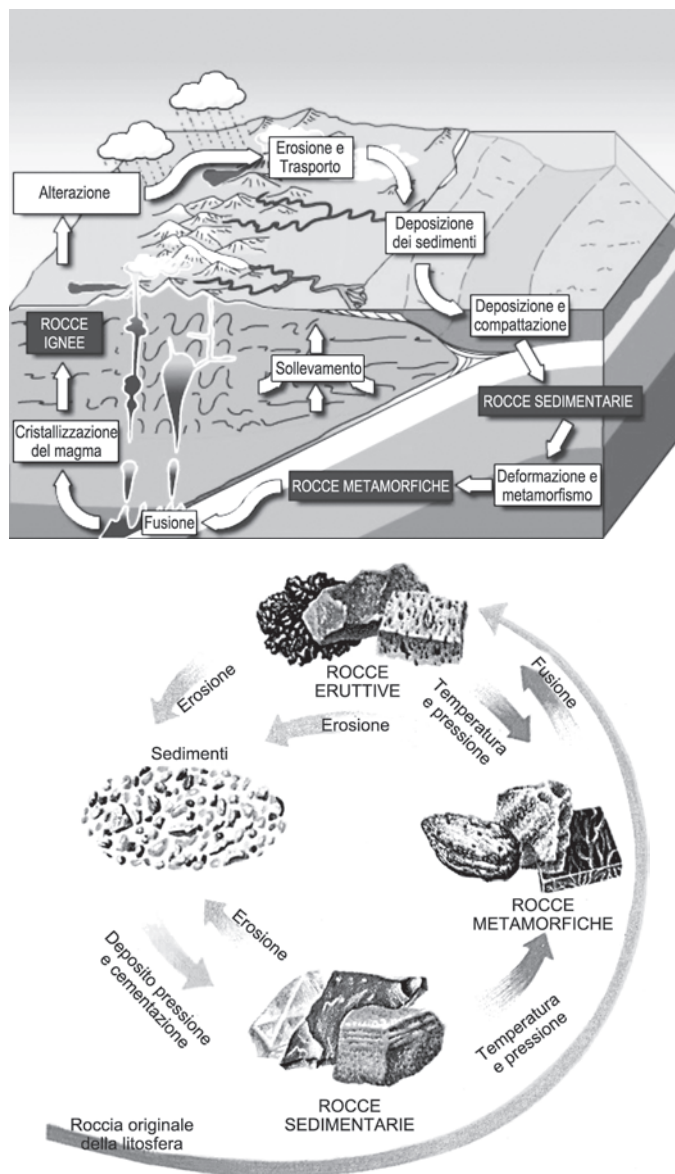


Figura 1.2. Cicli litogenetici

te a profondità tale da venir fuse per dare origine a nuove masse ignee. A loro volta, le rocce sia sedimentarie sia ignee possono venir sottoposte a cambiamenti chimico-fisici, noti globalmente col nome di *metamorfismo*, non tanto forti da fonderle, ma sufficienti a cambiare totalmente i caratteri della massa rocciosa originaria. In natura succede quindi spesso che ammassi lapidei di una qualsiasi categoria passino ad un'altra secondo lo schema riportato nella figura 1.2. Questi cambiamenti fondamentali prendono il nome di *cicli litogenetici*.

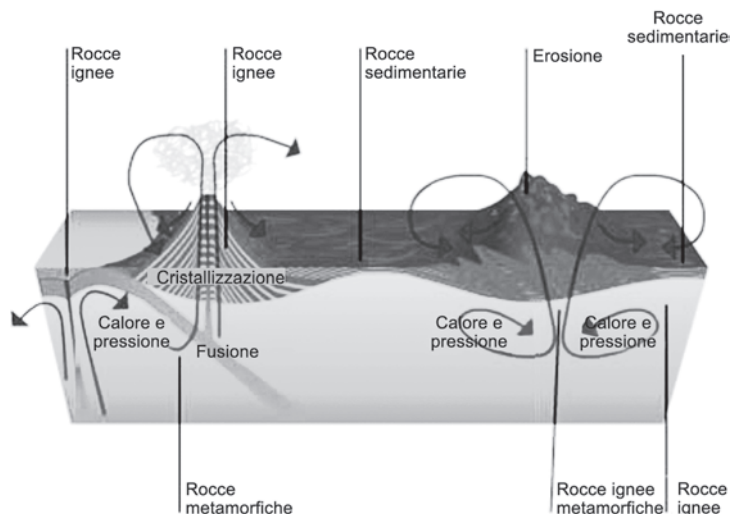


Figura 1.3. Schema dei rapporti tra le varie categorie di rocce

Le rocce che affiorano in superficie, che sono cioè direttamente osservabili, non sono molto estese perché, oltre alle masse d'acqua che ricoprono gran parte del globo, le distese continentali sono in alta percentuale coperte da suolo vegetale, boschi, prateria, steppe, tundra, etc.; tuttavia, sotto un debole spessore di copertura vi sono sempre ammassi rocciosi di una delle tre categorie. Come si può vedere dalla figura 1.3, che schematizza una situazione molto frequente, a debole profondità i continenti sono formati in prevalenza di rocce metamorfiche, mentre a forte profondità predominano le rocce ignee. Se invece si considera il globo terrestre nel suo insieme, comprese le masse magmatiche che si estendono sotto tutti gli oceani, si può affermare che l'involucro più esterno del nostro pianeta è formato in altissima percentuale da rocce ignee.

Il passaggio dall'una all'altra categoria di rocce, in natura, è di solito abbastanza netto; le rocce sedimentarie, più superficiali, coprono estese masse di rocce metamorfiche: queste ultime passano, secondo le modalità visibili nella figura 1.3, ad enormi corpi magmatici, spesso di natura granitica, detti *plutoni*. È bene notare che l'ossigeno costituisce da solo il 47% di tutte le rocce; altri elementi comuni nella crosta terrestre sono: Si, Al, Ca, Na, K e Mg, in ordine decrescente di abbondanza.

1.5.2. Le rocce ignee

Buona parte delle rocce della crosta terrestre (litosfera) sono formate da masse che in molti casi si sono solidificate in profondità, nel tempo geologico, da sacche fuse; in altri casi, invece, esse sono giunte in superficie sotto forma di lave per fenomeni vulcanici. In ambedue i casi, si tratta di rocce ignee note anche con il nome di *eruttive* o *magmatiche*. Un magma è una massa fusa, di dimensioni grandi o enormi, che si trova a profondità variabili, in genere tra i 15 e i 70 km; esso contiene sempre una grande quantità di silicati che con il progressivo raffreddamento cristallizzano separatamente, secondo il loro punto di fusione, e di sostanze gassose che contribuiscono ad aumentare la grossezza

dei cristalli che si vanno formando. I magmi sono contenuti in sacche di forma varia, entro ammassi rocciosi di qualsiasi natura, nei quali pian piano il calore e i gas si disperdono e possono avere o formare ramificazioni dette, secondo la forma, *apofisi* o *filoni*. Le rocce che divengono solide e cristalline in profondità sono dette *intrusive*, quelle che giungono ad affiorare allo stato fuso sono chiamate *effusive*. Si formano rocce intrusive quando vi è l'impossibilità, per una massa fusa, di giungere in superficie; si formano invece rocce effusive quando una massa magmatica, spinta dalla pressione dei gas che contiene, trova una via di risalita, forma un apparato vulcanico e consolida all'aria libera. Nel primo caso (rocce intrusive), il magma fuso cristallizza con una lenta diminuzione di temperatura, perché protetto da una spessa coltre di altre rocce che impediscono la rapida dispersione del calore; diviene inoltre solido sotto la forte pressione della coltre sovrastante e del gas contenuti in abbondanza nella massa fusa. Questi ultimi, noti anche con il nome di *componenti volatili* sono numerosi; li si possono in parte conoscere esaminando quelli che escono da un vulcano: sono il vapore acqueo, l'idrogeno, il cloro e l'acido cloridrico, il fluoro e l'acido fluoridrico, l'anidrite solforosa e molti altri. Temperatura, pressione e componenti volatili sono quindi gli elementi che, agendo in profondità, fanno sì che una roccia ignea intrusiva sia tutta formata da cristalli di dimensioni visibili ad occhio nudo (da grossi, cioè di dimensioni superiori a 2 mm, a medi, cioè di dimensioni sino a 0.1 mm e su per giù della stessa misura), o più grandi, abbia cioè una struttura granulare o *olocristallina*. Ma quelli formati per primi (figura 1.4) sono limitati da facce cristalline regolari e di solito si tratta di silicati scuri; quelli solidificati dopo debbono modellarsi almeno in parte sui primi, perciò hanno forme alquanto irregolari (spesso sono silicati chiari). I minerali che cristallizzano per ultimi, cioè negli spazi rimasti liberi tra gli altri granuli, assumono una forma qualsiasi (per esempio il quarzo). Le masse rocciose di questo tipo possono venir spinte verso l'alto, quando sono già solide, dai fenomeni orogenetici, e spesso la loro parte più alta viene messa a nudo dalla lenta demolizione delle rocce sovrastanti, asportate dagli agenti esogeni (fiumi, ghiacciai, etc.).

Al contrario, le masse magmatiche fuse che si aprono una via verso l'esterno (rocce ignee effusive) giungono a contatto con l'aria ancora fuse, in forma di colate di lava; in tal caso, la temperatura passa rapidamente da circa 1000 °C a quella ambiente, la



Figura 1.4. I = struttura olocristallina al microscopio (ordine di cristallizzazione: dal più scuro al più chiaro); II = struttura porfirica; III = struttura perlitica di un'ossidiana

pressione scende in brevissimo tempo da valori molto alti (diverse migliaia di atmosfere) a quella ordinaria, i componenti volatili si disperdono per degassazione nell'aria. In queste condizioni, una piccola parte della massa riesce a formare cristalli di dimensioni apprezzabili durante la risalita del condotto vulcanico e questi prendono il nome di *fenocristalli* (feno- è la radice di un verbo greco che significa apparire, essere evidente); ma quasi tutta la massa consolida in superficie sotto forma di minuti cristalli visibili solo al microscopio. Si formano allora rocce con una pasta fondamentale microcristallina o anche in parte non organizzata in reticolo-cristallini e quindi amorfa (pasta vetrosa); in ambedue i casi, entro la pasta di fondo, vi possono essere, sparsi qua e là, un certo numero di fenocristalli. Le rocce di questo tipo vengono chiamate a struttura porfirica (dal più tipico loro rappresentante, il porfido).

Ogni magma ha una sua composizione caratteristica che condiziona la velocità di raffreddamento e le modalità della cristallizzazione. Vi sono magmi ricchi in Si e Al, elementi leggeri, i quali danno origine a rocce di color chiaro, con peso specifico intorno a 2.7, formate da pochi silicati, molti silico-alluminati e una certa quantità di silice libera (SiO_2) che solidifica in granuli di quarzo. Le rocce che ne derivano sono dette *sialiche* (dalle iniziali di silicio e alluminio).

Altri magmi, all'opposto, danno all'analisi chimica una quantità di Si (combinato sia come SiO_2 sia negli abbondanti silicati) inferiore al 50%, in peso, sul totale della roccia; essi sono in compenso relativamente più ricchi in Fe, Mg e Ca, elementi più pesanti. Questi magmi danno origine a rocce scure, dal verde al grigio scuro e al nero, con peso specifico non inferiore a 3; esse sono formate da molti silicati, pochi silico-alluminati, mancano di silice libera e sono dette *femiche* (dalle iniziali di ferro e magnesio). Un terzo gruppo di magmi ha composizione intermedia e origina rocce né molto chiare né molto scure, con peso specifico intermedio e con un rapporto proporzionato fra silico-alluminati e silicati. Le rocce di questi tre gruppi, sui quali influisce molto la quantità di Si, vengono anche dette *persiliciche* (con il 60-70% di silicio), *mesosiliciche* (silicio in quantità intermedia) e *iposiliciche* (silicio in quantità del 40-50%).

La composizione chimica di un magma fuso condiziona la qualità e quantità dei minerali contenuti nelle rocce che da esso derivano; minerali che, secondo le modalità della solidificazione, possono dare cristalli grandi, piccoli, microscopici o addirittura rimanere allo stato vetroso (non cristallino). Quando abbondano quelli ricchi in Si e Al, la relativa roccia è *sialica*; perciò anche questi minerali sono detti *salici*; dove abbondano invece quelli ricchi in Ca, Fe e Mg la roccia è femica, ed anche questi ultimi minerali sono detti *femici*. La tabella 1.2 elenca i minerali, con la relativa formula chimica, che con la loro abbondanza o scarsità (o assenza) danno il carattere di sialicità, o di femicità, o di posizione intermedia alle varie rocce intrusive ed effusive.

La composizione di una roccia ignea si stabilisce determinando al microscopio il tipo e la relativa quantità di minerali che essa contiene e unendo ai dati ottici quelli di un'analisi chimica. Per avere un'idea del posto che un campione (o massa magmatica uniforme) occupa nella scala delle rocce ignee, basta riferirne i dati ad un grafico come quello schematizzato nella figura 1.5, dove in azzurro sono indicati i minerali sialici, in altri colori quelli femici. Tracciando una linea orizzontale verso l'alto o verso il basso fino a far coincidere con il grafico le percentuali ottenute dalle analisi, a sinistra, si legge la famiglia cui appartiene una roccia intrusiva, a destra quella di una roccia effusiva.

Tabella 1.2. Composizione chimica composti sialici e femici (fonte: Accordi, Calmieri, 1973)

Composti sialici		Composti femici	
Quarzo	SiO_2	Miche; biotite (nera), muscovite (argentea) e altre miche	Silicati complessi di Fe, Mg, Al e K
Felspati; comprendono Ortoclasio (con le varietà sanidino e microclino) e Plagioclasti, miscele di albite e anortite	KAlSi_3O_8	Piroseni (rombici e monoclini)	Silicati di Fe, Mg, Al (Ca e Na)
	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	Anfiboli (rombici e monoclini)	Silicati di Ca, Mg, Fe, Al e gruppi OH
Felspatoidi; comprendono leucite e nefelina	KAlSi_2O_6 NaAlSiO_4	Olivine miscele di	Mg_2SiO_4 e di Fe_2SiO_4

Ad esempio, un campione che contenga il 60% di quarzo e di ortoclasio potrà appartenere solo alle rocce persiliciche, mentre un campione ricco in olivina dovrà per forza essere situato fra le rocce iposiliciche.

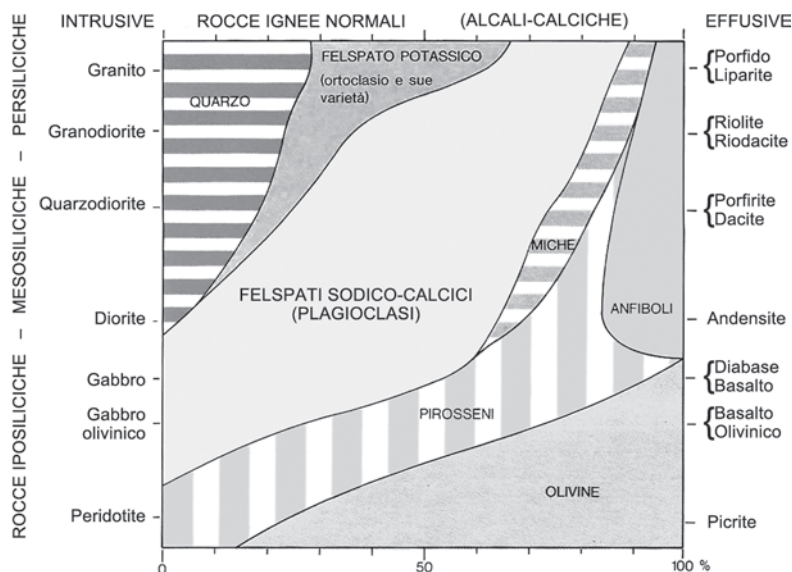


Figura 1.5. Composizione mineralogica delle più comuni rocce ignee. Tracciando linee orizzontali si ottiene grosso modo la percentuale dei costituenti fondamentali delle famiglie magmatiche normali (alcali-calciche), con i termini intrusivi (a sinistra) ed i corrispondenti effusivi (a destra) (fonte: Accordi, Calmieri, 1973)

FAMIGLIA DEI GRANITI

Le rocce di questa famiglia persilicica (figura 1.6) contengono molti granuli di quarzo, traslucido e incolore, molti cristalli di felspati (ortoclasio bianco o rosa) o plagioclasti ricchi in Na (albitici) e varie lamine di mica nera (biotite). I graniti un po' meno persilicici possono contenere, a scapito dei composti ora citati, una bassa percentuale di pirosseni o di anfiboli.

Un magma granitico dà rocce intrusive come i graniti normali (con biotite) o graniti a due miche (muscovite e biotite) o granodioriti (i plagioclasti prevalgono sull'ortoclasio).



Figura 1.6. Granito dell'Isola d'Elba, rosa in superficie fresca e marrone nella parte ossidata per esposizione all'aria e all'acqua. Si differenzia dal granito normale per contenere in gran numero grossi cristalli bianchi di ortoclasio, ben visibili in fotografia; al centro la massa è tagliata da un filone di quarzo bianco (fonte: Accordi e Calmieri, 1973)

Le rocce effusive che provengono da un magma della stessa famiglia hanno la stessa composizione chimica di quelle intrusive, ma diverse modalità di cristallizzazione. Si citano i porfidi (figura 1.7) e le rioliti, le daciti, le ossidiane (a pasta tutta vetrosa per la rapidità di raffreddamento), la pomice. Da magmi acidi alcalini si formano principalmente le sieniti (intrusive) e le trachiti (effusive).

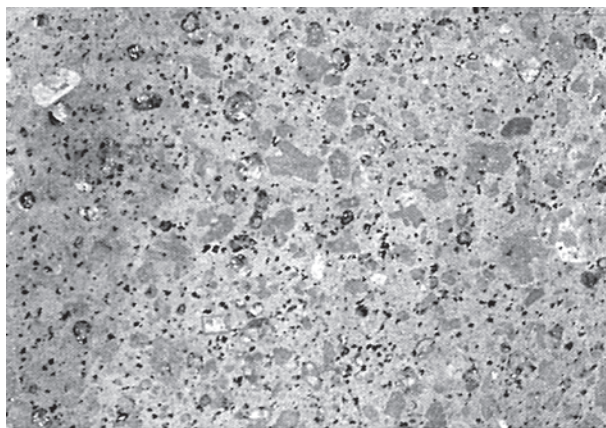


Figura 1.7. Porfido con molti fenocristalli: quelli grigi sono di quarzo, quelli rossi di ortoclasio, le macchiette nere sono lamine di biotite. Tutta la parte rimanente (grigio-rosa) è la pasta fondamentale, microcristallina, che ha la stessa composizione chimica dell'insieme dei fenocristalli (fonte: Accordi e Calmieri, 1973)

FAMIGLIA DELLE DIORITI

Deriva da magmi mesosilicici (figura 1.8), che hanno cioè una miscela equilibrata di composti sialici (abbondanti plagioclasti) e di composti femici (pirosseni o anfiboli). Vi è quarzo solo nelle quarzodioriti. Vi sono anche dioriti più ricche in femici, dette *gabbrodioriti*. I corrispondenti effusivi, di regola con fenocristalli abbondanti e ben cristallizzati, sono le porfiriti, le daciti e le andesiti.



Figura 1.8. La diorite, roccia olocristallina, è formata – in parti equilibrate – da composti sialici (plagioclasti, bianchi) e da composti femici (pirosseni e anfiboli, scuri)



Figura 1.9. Il basalto è una lava nera, durissima, formata da pasta fondamentale microcristallina, con plaghe vetrose per il rapido raffreddamento; contiene pochi minuscoli fenocristalli e proviene da grande profondità. È composto da pochi minerali sialici (plagioclasti) e molti composti femici (pirosseni, anfiboli, olivina), tutti visibili solo al microscopio

FAMIGLIA DEI GABBRI

I magmi gabbriici sono iposilicici e danno rocce scure con plagioclasti calcici, pirosseni, anfiboli e olivina; quelle intrusive sono dette rispettivamente *gabbri pirossenici*, *anfibolici* e *olivinici*. Le corrispondenti rocce effusive principali sono i diabasi e i basalti (figura 1.9); questi ultimi, neri, derivano dalle lave di vulcani le cui radici affondano fino ad attraversare la crosta terrestre solida e traggono le masse dal sottostante mantello. Rimane da accennare ad una famiglia ancor più iposilicica, quella delle rocce ultrafemiche, formate in gran parte da olivina; le più note sono le peridotiti, le duniti e le picriti, nere, pesanti e spesso interessate da giacimenti minerari di alto valore, come i composti di cromo. Esse hanno distribuzione limitata sui continenti, mentre abbondano in estese masse sul fondo degli oceani.

1.5.3. Le rocce sedimentarie

La sedimentazione è il processo per cui in vari ambienti si depositano materiali omogenei ed eterogenei, che provengono da rocce preesistenti. Il processo avviene quotidianamente sotto i nostri occhi sul fondo di una valle (depositi fluviali), ai piedi di una montagna, dove cadono i frammenti rocciosi (detriti di falda) che si staccano dalle masse sovrastanti, nel deserto (sabbia eolica), sul fondo di un lago (fanghi argillosi o calcarei) o di una palude (torba), in riva al mare (depositi sabbiosi o ciottolosi), in pieno oceano (argille e calcari). In ambiente marino o lacustre, non di rado si formano sedimenti anche per l'abbondante accumulo di gusci o scheletri di organismi.

Il lento passaggio da sedimenti freschi e sciolti a rocce coerenti avviene per un insieme di processi che globalmente prende il nome di diagenesi; questa comporta non solamente una compattazione con indurimento e cementazione, ma anche alcuni mutamenti di composizione chimica e di struttura delle particelle originarie. La trasformazione del sedimento in roccia, o litificazione, implica l'azione del peso dei materiali che progressivamente si sovrappongono, della temperatura, di alcune possibili reazioni chimiche, della deposizione di un cemento da parte delle acque circolanti; tutte azioni che si esplicano nel tempo geologico. La diagenesi può avvenire a volte in tempi relativamente brevi, a volte in tempi molto lunghi.

La genesi delle rocce sedimentarie può essere dovuta all'accumulo meccanico di frammenti, disgregati da rocce precedenti, ad opera di agenti quali il gelo, le acque dilavanti, i fiumi, il vento, la caduta per gravità, etc. (agenti esogeni). I sedimenti di questo tipo danno rocce che si chiamano *detritiche* o *clastiche* (da *clazo* = rompo). Dove ferve la vita, come nei fondali ad alghe con molti molluschi marini o nelle scogliere a coralli, vi è un forte accumulo di resti di organismi che danno origine a rocce organogene o biogene. In altri ambienti si depongono, per precipitazione chimica, vari sali: ad esempio, il carbonato di calcio, il gesso e altri composti che in grandi masse prendono il nome di rocce di origine chimica.

Non vi è un limite netto fra questi tre gruppi di rocce sedimentarie; sono più che frequenti i casi di rocce con una certa percentuale di materiale dovuto ad un tipo di genesi e, intimamente mescolata, un'altra percentuale di frammenti a genesi diversa; rocce chimiche con una parte di elementi clastici, rocce clastiche con una parte di elementi di origine chimica, rocce biogene in cui i resti di organismi, per quanto abbondanti, giacciono in una matrice di altra origine.

ROCCE CLASTICHE O DETRITICHE

Una loro distinzione può basarsi sulla dimensione degli elementi accumulati, prescindendo dalla loro natura ed età; si distinguono in tal modo i seguenti gruppi di rocce:

- *conglomerati*: derivano dalla lenta cementazione delle ghiaie. Si dividono in brecce, con ciottoli angolosi, e puddinghe, con ciottoli arrotondati; si chiamano *monogenici* i conglomerati con ciottoli tutti della stessa natura (figura 1.10), *poligenici* quelli con ciottoli di rocce varie (figura 1.11). Possono derivare da morene, accumulate ai bordi di un ghiacciaio; da detriti caduti ai piedi delle pareti e dai ripidi fianchi montuosi (detriti di falda e brecce di pendio); da depositi alluvionali lasciati da fiumi e torrenti; da pietrame caduto

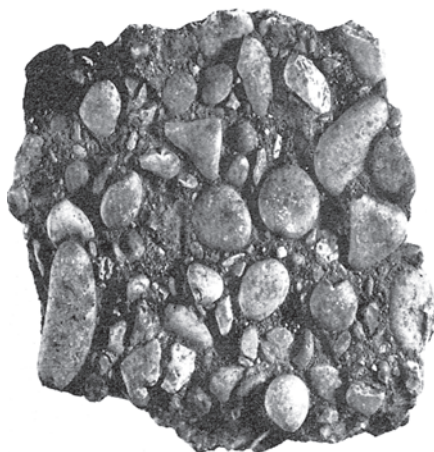


Figura 1.10. Conglomerato (roccia sedimentaria detritica) monogenico formato da ciottoli di calcare tutti della stessa natura; l'abbondante cemento è arenaceo. È una puddinga perché i ciottoli sono arrotondati (fonte: Accordi e Calmieri, 1973)

- sulla riva del mare da coste rocciose;
- *arenarie*: sono sabbie cementate che possono essere ricche di granuli di quarzo (arenarie quarzose) o di frammenti di feldspati (arenarie feldspatiche) o di detriti di calcare (arenarie calcaree). Derivano da sabbie desertiche, dune marine, sabbia fluviale o lacustre o deltizia, sabbie costiere o di bassifondi marini (figura 1.12). In Cina, in Russia e in altre distese continentali vi sono depositi giallastri di sabbia fine, trasportata su lunghe distanze dal vento, che prendono il nome di *loess*;
 - *argille*: sono i depositi più minuti dello sgretolamento di rocce di vario tipo. Ve ne sono di grossolane, fini, finissi-

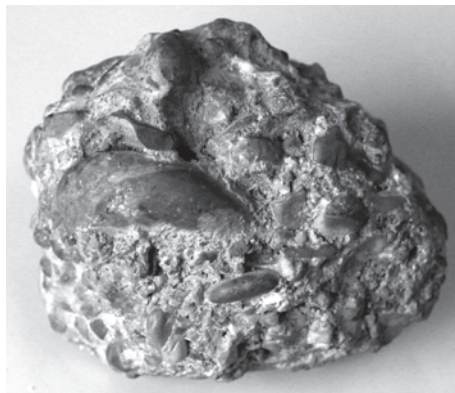


Figura 1.11. Puddinga poligenica, con ciottoli e frammenti calcarei di diverso tipo e colore cementati da CaCO_3 arrossato per la presenza di ossido di ferro. Rocce di questo tipo sono molto usate come lastre di rivestimento che sul mercato hanno il nome improprio di “marmi” (fonte: Accordi e Calmieri, 1973)

Figura 1.12
Banchi e letti, fortemente inclinati, di arenaria gialla formata in prevalenza da microscopici granuli di quarzo e di feldspati e da lamine di mica. La roccia, che alla base (in basso a sinistra) ha letti argillosi, è il “macigno” dell’Abetone (Pistoia) e deriva dalla cementazione di sabbie marine di argille depostesi circa 35 milioni di anni fa (fonte: Accordi e Calmieri, 1973)



- me; si depositano in prevalenza sul fondo dei grandi laghi, al largo dei delta, in mare aperto, in pieno oceano;
- *marne*: sono rocce miste, con una parte di calcare di origine chimica e una parte di argilla di origine detritica; le marne sono poco dure, normalmente di colore grigio, spesso stratificate. Un tempo erano usate per farne cemento: oggi è più vantaggioso ottenere i vari tipi di cemento prendendo il calcare e l’argilla da cave diverse, mescolandosi nelle proporzioni volute;
 - *flysch*: masse rocciose eterogenee (figura 1.13), formate spesso da alternanze di strati di arenarie e di argille a debole spessore ma ripetute migliaia di volte, perciò a spessore globale anche di 1000-2000 m, sono state chiamate dai geologi flysch, termine



Figura 1.13
Esempio di flysch: arenaria
con sottili livelli di siltite

tratto dal gergo dei minatori svizzeri dei secoli scorsi. Questo nome viene applicato anche a continue alternanze di arenarie e calcari, o argille e calcari, e per la presenza di un materiale tenero (l'argilla) l'esteso e potente pacco di strati che ne deriva non è mai duro, ma si sgretola e frana facilmente. Molte zone dell'Appennino sono formate da vari tipi di flysch, sul quale è difficile, per la sua franosità, costruire qualsiasi opera stradale o edile di una certa importanza;

- *piroclastici*: si tratta di depositi, anche estesi e potenti, di ceneri, tufi e lapilli lanciati da esplosioni vulcaniche. I frammenti hanno percorso in aria una parabola più o meno lunga “sedimentandosi” su rocce qualunque o cadendo in mare; perciò le rocce piroclastiche vengono considerate come sedimentarie, anche se sono di origine ignea.

ROCCE ORGANOGENE O BIOGENE

Una loro distinzione può basarsi sulla composizione chimica della matrice e dei resti di organismi che contengono. A parte le poche rocce di tal tipo che si formano in ambiente lacustre, la maggior parte di esse si sedimentano, come si sono deposte nelle passate ere geologiche, in mare; le più grossolane a non molta distanza dalla costa, le più fini sui fondali oceanici:

- *calcari organogeni*: sono rocce formate quasi esclusivamente da carbonato di calcio (CaCO_3), sia come parte inorganica che come resti biogeni; sono molto diffuse in Italia. Molte di queste rocce sono ricchissime di resti di alghe a rivestimento calcareo; altre contengono in quantità protozoi a guscio calcareo, coralli di scogliera, ammassi di gusci di molluschi con prevalenza di ammoniti (cefalopodi), gasteropodi, lamellibranchi;
- *dolomie*: meno abbondanti di calcari, sono formate da carbonato doppio di calcio

e magnesio, cioè da dolomite, la cui formula è $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$; naturalmente vi sono tutti i termini di passaggio tra calcari e dolomie, secondo le proporzioni fra calcite e dolomite. Le dolomie sono state (e vengono tuttora) costruite dai coralli coloniali, il cui guscio contiene Mg;

- *selce*: questa roccia dura, formata da SiO_2 (silice), è quasi sempre contenuta entro masse calcaree in forma di lenti, noduli, masserelle sferoidali, talora in straterelli. Altre rocce a base di silice sono le diatomiti, masse pulverulente bianche, lacustri o marine, formate da miliardi di gusci di diatomee (vegetali unicellulari); il tripoli che è analogo alla diatomite, ma con una certa percentuale di resti di altri microrganismi;
- *fosforiti*: sono depositi di fosfato di calcio che derivano da accumuli, in sacche o grotte, di ossa di vertebrati, formate appunto da tale composto chimico, o di escrementi di uccelli marini (guano), i cui giacimenti abbondano lungo le coste del Perù e del Cile.

ROCCE DI ORIGINE CHIMICA

Questo terzo e ultimo gruppo di rocce sedimentarie comprende tutte quelle che si sono deposte, e si depongono tuttora, per fenomeni chimici. Il più evidente tra questi è la semplice “precipitazione”, sul fondo di bacini acquei, di composti sciolti nell’acqua del mare o dei laghi; quando la loro quantità supera il limite di solubilità, il che avviene più facilmente se vi è intensa evaporazione, una parte di essi precipita. Altri sedimenti derivano da reazioni chimiche nelle stesse acque, sempre con precipitazione al fondo del prodotto finale della reazione. Un gruppo di rocce deriva da ossidazione o alterazione, all’aria libera, di rocce preesistenti.

Calcari e dolomie: spesso questi materiali derivano da precipitazioni di CaCO_3 o di $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ nell’acqua del mare, senza l’intervento di organismi costruttori. Presso la costa, nei mari caldi sottoposti ad intensa evaporazione, la deposizione di veli concentrici di carbonato di calcio forma un gran numero di sferette (figura 1.14) le quali, cementate, danno origine ai calcari oolitici (dal greco *oos* = uovo); le songole sferule, dette *ooliti*, sono grandi quanto le uova di esche). Un gruppo di calcari continentali è

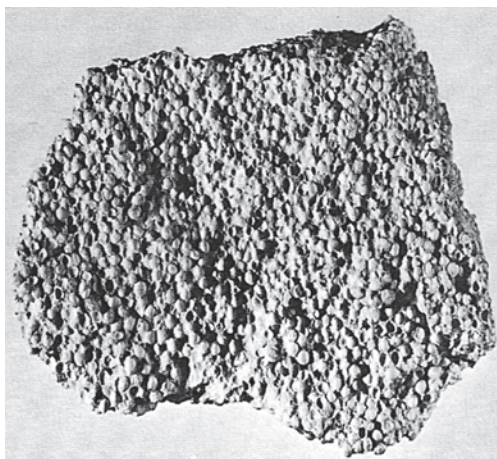


Figura 1.14
Calcare oolitico. La roccia si è formata presso la costa, in mare caldo e limpido, per deposizione chimica di veli concentrici di CaCO_3 . Il fenomeno, favorito dall’intensa evaporazione, si è verificato abbondantemente in passato in tutta Europa; esso avviene anche oggi nelle regioni tropicali e dà come risultato enormi ammassi di sferette che in sezione, al microscopio, oltre ai veli concentrici mostrano anche una struttura raggiata (fonte: Accordi e Calmieri, 1973)

dovuto a deposito da acque sorgive o fluviali sovrassature in CaCO_3 ; ne derivano travertini, alabastro, stalattiti e stalagmiti, tutti in straterelli sovrapposti o concentrici, non di rado a colore diverso:

- *selce*: una parte delle rocce selcifere di deposito marino deriva da precipitazione chimica di SiO_2 in sovrabbondanza. Altre rocce di questo gruppo derivano da deposizione di silice all'aria libera ad opera di acque sorgive, ricche in SiO_2 o di sorgenti termali di origine vulcanica. La silice che circola nel sottosuolo può sostituire molecola per molecola, conservando tutte le strutture, il legno di alberi sepolti; hanno così origine le foreste fossili ed i legni silicizzati;
- *evaporati*: quando un bacino isolato evapora completamente, o quasi, sul fondo si depositano i sali contenuti nell'acqua del mare, in ordine inverso di solubilità: prima la calcite e la dolomite, poi il gesso o l'anidrite, infine il salgemma, la silvite e la carnalite (cloruri di Na, K, Mg). Sequenze di questo tipo ricorrono spesso nella storia della Terra, tutte le volte che i diversi rapporti fra terre e oceani portano all'isolamento di un braccio di mare, come è successo nel Mar Morto;
- *rocce chimiche continentali*: l'alterazione meteorica dei silicati di rocce ignee o metamorfiche provoca, in aree tropicali, la formazione di coltri anche potenti di idrossidi ricchi di Al e di Fe, quindi rossastri, chiamate *lateriti*. Un tipo di laterite di età antica, che si trova anche su (o entro) rocce sedimentarie, è la bauxite, sfruttata per ricavarne l'alluminio. Le argille caoliniche e il caolino (silicato dall'alluminio idrato) si formano per alterazione dei silicati alluminiferi di rocce preesistenti e possono venire accumulati sia in sacche che in vene o fratture; si tratta di giacimenti molto ricercati per fabbricare ceramiche e porcellane.

1.5.4. Le rocce metamorfiche

Le enormi pressioni cui sono sottoposte le masse rocciose durante la formazione di catene montuose e le temperature incontrate dalle rocce che dalla superficie vengono spostate in profondità, o che giungono a contatto con masse magmatiche fuse, provocano forti cambiamenti, sia in rocce ignee che sedimentarie; cambiamenti che vengono indicati con il termine *metamorfismo*. Essi consistono in variazioni chimiche e fisiche tali da alterare profondamente la natura e la struttura delle rocce originarie. Si originano così le rocce metamorfiche, caratterizzate di regola dalla formazione di nuovi minerali per reazioni chimiche e dalla comparsa di fitti piani ondulati, detti *piani di scistosità*, che suddividono la roccia metamorfica in un gran numero di letti sottili, a volte così marcati da permettere la facile separazione della roccia in lamine; di solito la scistosità è dovuta alla concentrazione, lungo i suddetti piani, di un gran numero di sottili e tenere lamine di miche che si formano durante i processi metamorfici.

Le rocce metamorfiche sono molto diffuse, sia nei grandi continenti sia nelle montagne fortemente corrugate, come la catena alpino-himalayana.

I tipi principali sono gli gneiss, a composizione granitica ma laminati, con tutti i minerali orientati parallelamente ai piani di scistosità (figura 1.15); i micascisti, con sottili letti alterni formati da piccoli cristalli allineati di quarzo e di miche; le filladi (dal greco *fillon* = foglia), che derivano da argille trasformate in buona parte in miche e in cloriti

Figura 1.15

Gneiss del Gran Paradiso, tipica roccia ad alto grado di metamorfismo. È formata da granuli dispersi di quarzo vitreo (non visibile), da un gran numero di cristalli appiattiti di feldspato (bianco) e da letti di miche scure che sottolineano i piani di scistosità. L'oggetto, in questo caso l'orologio, serve come termine di confronto per le dimensioni (fonte: Accordi e Calmieri, 1973)

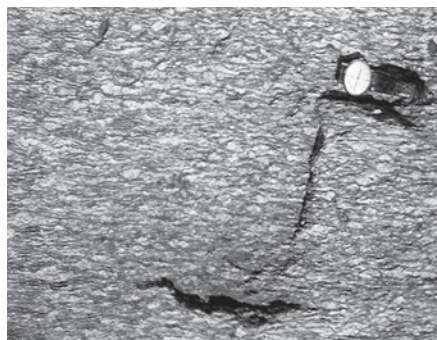


Figura 1.16

Fillade alla base del Monviso; deriva dal metamorfismo di un sedimento argilloso antichissimo. È formata da minutissimi granuli di quarzo e da una gran massa di lamie di miche e di clorite. I piani di scistosità, ondulati, sono evidentissimi. La roccia è tenera e si lascia degradare facilmente (fonte: Accordi e Calmieri, 1973)



(silicati simili alle miche): le filladi si presentano in lamine tanto fitte da permettere la separazione della roccia in sottili fogli (figura 1.16).

Altre rocce metamorfiche da segnalare sono le quarziti (banchi a prevalente SiO_2 che possono derivare da arenarie quarzose), i calcescisti (figura 1.17), che derivano da calcari argillosi in cui il CaCO_3 è ricristallizzato e l'argilla è trasformata in bande grigie o verdi di miche, i marmi (calcari a grana cristallina come lo zucchero, donde il nome di *marmi saccaroidi*) e le serpentiniti, ammassi rocciosi dal colore della pelle di serpente in quali derivano da alterazioni di rocce ignee femiche (figura 1.18).



Figura 1.17. Calcescisti, pietre verdi di Voltri



Figura 1.18. Serpentiniti del Monte Beigua

1.6. Caratteri dei terreni e delle rocce più comuni e perforazioni

Si veda ora una descrizione dei terreni e delle rocce più comuni rilevando i caratteri che più interessano la perforazione: senza riguardo a classificazioni geologiche (già esaminate nei precedenti paragrafi), chimiche o mineralogiche, esse verranno in questo esame unilaterale elencate grossolanamente secondo la maggiore o minore facilità di attraversamento. Si evidenzia che l'intendimento di alcune osservazioni che verranno fatte non potrà essere completo che con la conoscenza delle nozioni di tecnologia, che saranno svolte nei capitoli seguenti.

1.6.1. Argille

Le argille sono silicati idrati di alluminio, contenenti solitamente altre sostanze, derivati metamorficamente da rocce feldspatiche (silicati di alluminio combinati con potassio o sodio o calcio o bario) per alterazione dovuta all'atmosfera o ad acque contenenti anidride carbonica.

Esse si trovano in ammassi sedimentari spesso enormi, di potenza di centinaia di metri, alternate per lo più a stratificazioni di marne e argille sabbiose. Quelle quasi pure, dette *grasse* in contrapposto alle *magre* contenenti detriti sabbiosi o marnosi, sono plastiche: cioè, intrise di acqua (che assorbono, quando sono secche, in un rapporto di circa il 40% del loro volume) rigonfiano, formando una pasta che può essere modellata e che è impermeabile; questa pasta seccata e cotta si contrae, indurisce fortemente assumendo un colore generalmente rosso (terra cotta), perdendo la proprietà di impastarsi con acqua. L'impermeabilità quasi assoluta è caratteristica importantissima delle argille bagnate; sotto uno strato di questa roccia si incontrano generalmente i giacimenti più potenti di acque artesiane o di idrocarburi: in questo senso, l'attraversamento di potenti formazioni argillose, in seno alle quali non è possibile ritrovare minerali fluidi sfruttabili, può essere di buon auspicio, e il perforatore che li ricerca è sempre in viva attesa di favorevoli manifestazioni all'uscita da uno strato d'argilla. In molta acqua le argille si spappolano, suddividendosi nei minutissimi elementi che le costituiscono, e formano un fango che ha per la perforazione proprietà preziose di peso specifico, di viscosità e di colloidità (la cui precipua caratteristica è quella di non depositare). Hanno generalmente un colore grigio, che alle volte passa quasi al nero per la presenza di sostanze organiche carboniose, e alle volte è variamente colorato, specie in rosso per sali di ferro, o in azzurro (argille piacentiane, periodo pliocenico, era terziaria). Il peso specifico dell'argilla, asciutta, è circa 2.2; può salire a oltre 2.5 per argille molto compatte. La compattezza di questo terreno è varabilissima, non solo perché può presentarsi variamente cementata con calcare (fino al 10% essa viene ancora classificata come argilla: quando ne contenga dal 10 al 30% chiamasi propriamente argilla marnosa come mostrato nella figura 1.19), o con silice, ma anche per effetto della compressione a cui sia stata assoggettata, la quale influisce fortemente su quella proprietà (argille compatte, argillocisti, ardesie, lavagne). Ma se la pressione ha sgretolato e sconvolto il banco argilloso, fessurandolo e riducendolo a un ammasso di scaglie presentanti fra di loro superfici di scivolamento, si generano le cosiddette *argille scagliose*, le quali sono prive di ogni compattezza, si sfasciano completamente sotto l'azione dell'acqua, che penetra tra le superfici di sfalda-

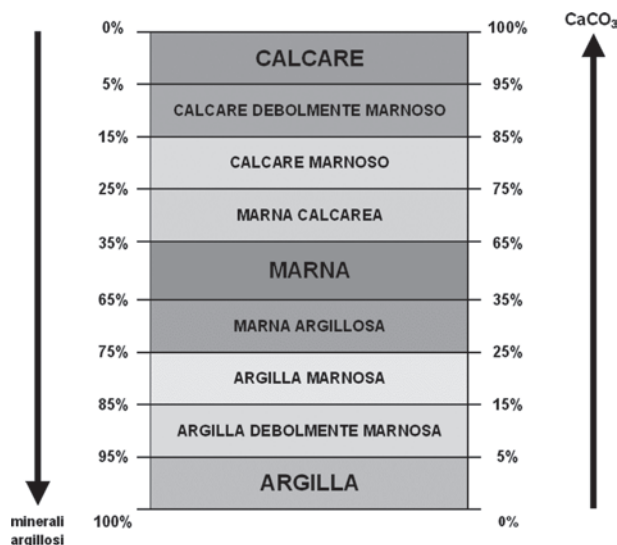


Figura 1.19. Termini di passaggio tra calcare (100% di carbonato di calcio) e argilla (100% di minerali argillosi). Le marne in senso stretto si trovano nel campo tra 35% e 65% di CaCO_3 (o di minerali argillosi). A composizioni comprese tra questi limiti e i termini puri corrispondono litotipi intermedi

tura, e possono scorrere con estrema facilità, franare e anche invadere, risalendo, il cavo di un pozzo che le abbia attinte. Le argille sono quasi sempre di perforazione facilissima sia a percussione che a rotazione; perforate “a secco” (e cioè con poca acqua sul fondo, senza circolazione) quelle compatte possono però presentare difficoltà di avanzamento dovute alla loro plasticità, che impedisce un impasto abbastanza fluido con l’acqua: lo scalpello, lavorando, forma in breve una massa semisolida tenace e appiccicosa, che smorza la forza viva della sua caduta: pertanto occorre frequentemente estrarlo per ripulire il fondo del pozzo.

È vantaggioso in questo caso dimagrire il terreno con sabbia grossa o ciottoli facilmente friabili. Nella perforazione idraulica le argille, data la rapidità di avanzamento, richiedono forti portate di fango di circolazione. Le argille grasse non lasciano quasi nessuna traccia sugli scalpelli a percussione; sui trapani a rotazione, esse però appiccicano fortemente agli attrezzi di perforazione, che vengono estratti quasi sempre carichi di materiale pastoso.

Le argille troppo poco compatte, e specialmente le argille scagliose (che qualche volta si presentano in banchi estesissimi), sono di difficile perforazione a causa delle frane e delle invasioni spesso imponenti che producono, in particolare se impregnate di acqua. Le argille hanno tendenza a rigonfiare, e quindi a restringere il foro aperto dallo scalpello a percussione o dal trapano a rotazione, e a serrarsi contro la tubazione del rivestimento. Se si fa la perforazione a secco, con delle tubazioni di rivestimento (“colonne”) che seguono lo scavo, occorre spesso mantenere queste in movimento, affinché rimangano bloccate. Se la perforazione è idraulica, allora la colonna si immette dopo che è finito lo scavo del diametro rispettivo e occorre ripassare il foro per essere certi che eventuali restringimenti non ostacolano la manovra.

1.6.2. Sabbie

Depositi di detriti minuti di rocce preesistenti, prodotti dall'azione delle correnti, delle onde e delle maree, e dei venti. A seconda della natura della roccia originale possono distinguersi sabbie silicee, calcaree, etc.; in esse predominano però fortemente in generale gli elementi silicei, come quelli che, più duri, hanno ridotto gli altri in polvere impalpabile e, difficilmente attaccabili da agenti chimici, non si sono disciolti.

Dalla grossezza delle particelle possono distinguersi sabbie grossolane (circa 1 mm), medie, fini e finissime; le dimensioni di queste ultime possono essere quasi impalpabili. Si distinguono anche dalla forma dei granelli: rotondeggiante e levigata, di origine eolica o fluviale e a spigoli vivi (lagunari o marine).

La porosità delle sabbie è sempre alta; la permeabilità diminuisce insieme al diametro dei granelli, riducendosi a valori molto bassi per sabbie molto fini e compresse. Anche la pressione e le impurità, e specialmente l'argilla che esse contengono, riducono la permeabilità. Il peso specifico è compreso fra 1.35 e 1.65. Le sabbie sono terreni che possono contenere le più abbondanti mineralizzazioni fluide. Si trovano le sabbie più o meno compresse in banchi raramente di grande potenza, spesso in straterelli sottili e in generale alternati con strati argillosi o argillo-sabbiosi, la loro resistenza è sempre piccolissima, se i granelli non sono cementati (arenarie): cosicché i grossi banchi difficilmente si conservano senza franare. Sabbie sciolte, pochissimo compresse, o imbevute di acqua invadono spesso la perforazione o il pozzo, risalendo anche per metri e metri nella colonna. Nella perforazione a secco, nella quale la colonna segue lo scavo, può essere opportuno, nell'attraversamento di banchi sabbiosi, tenere la scarpa della colonna a fondo e magari anche di batterla sotto il fondo: lo scalpello (normale) o la cucchiara lavorano allora in colonna. Nelle perforazioni idrauliche le frane di sabbia sono più rare, per la pressione del fango e per l'intonaco che esso forma alle pareti, e meno pericolose, a causa della corrente di fango, che asporta permanentemente la sabbia franata.

La perforazione a secco in sabbia con scalpello o con cucchiara di perforazione presenta anche la difficoltà di avanzamento, dovuta alla tendenza dei granelli a rimanere sul fondo, dove formano un cuscino sul quale lo scalpello batte senza frutto; è allora opportuno gettare nella perforazione o pozzo pezzi di argilla, in modo da formare con l'acqua un fango grosso, che possa mantenere sollevati i granelli; ovvero perforare con una cucchiara a pistone. Con le perforazioni idrauliche in genere, e specialmente con quella a rotazione, l'inconveniente è poco sentito, in quanto la corrente continua di fango asporta la sabbia smossa dall'utensile.

L'inconsistenza del terreno rende difficile il carotaggio, sia a percussione che a rotazione: assai frequentemente il tubo porta-carota viene estratto vuoto, sia che la sabbia non riesca a penetrarvi, disfatta e rimescolata dal movimento stesso del carotiere, sia che si perda, durante la risalita, lo strappacarota non avendo presa su di essa.

La sabbia consuma sensibilmente anche gli attrezzi di perforazione, specialmente quelli a rotazione: i trapani rotativi debbono essere rivestiti di leghe dure.

1.6.3. Argille sabbiose

Le argille sabbiose sono argille che contengono mescolata una quantità rilevante di sabbia, in generale ad elementi minuti. Più che di una vera e propria mescolanza si tratta

nella maggior parte dei casi di strati sovrapposti, spesso sottili come veli, di depositi argillosi e depositi sabbiosi, quasi sempre in forma lenticolare.

Anch'esse, come le argille, si trovano in ammassi potentissimi, alternati con strati di argilla quasi pura, di sabbia o di arenarie. Finché il rapporto della sabbia al terreno non supera in volume il 50% circa, il grado di porosità diminuisce e la permeabilità aumenta alquanto; per rapporti superiori (e allora il terreno può chiamarsi più propriamente sabbia argillosa) la porosità tende ad aumentare e la permeabilità si accresce fortemente. Il colore di questo terreno è generalmente sul grigio chiaro, tendente al giallo; peso specifico di poco maggiore di quello dell'argilla, anche qui in dipendenza del grado di compressione. Il tenore di sabbia si determina separandola per decantazione in corrente d'acqua e il diametro dei granellini si determina col passaggio del residuo sabbioso seccato su vagli di diversa densità. Anche all'esame superficiale si distingue generalmente se il materiale contiene molta o poca sabbia, infatti il campione è tanto meno plastico, quanto più sabbia contiene, inoltre i grani di sabbia si riconoscono facilmente ad occhio nudo o con lente d'ingrandimento; se però essi fossero minutissimi, l'esame superficiale dirà poco; si può allora ricorrere preferibilmente allo sfregamento su una lastra di vetro, che diviene opaca tanto più facilmente quanto maggiore è la quantità di sabbia silicea. La compattezza di queste rocce è molto variabile, ma generalmente esse non presentano caratteri franosi, a meno che non siano imbevute di acqua.

Esse sono di perforazione anche più facile delle argille compatte, qualunque sistema si impieghi; coi sistemi idraulici a rotazione, se il tenore di sabbia è elevato, le argille sabbiose consumano alquanto i coltelli del trapano e devono essere quindi lavorate con lame "caricate" con leghe dure; anche sugli scalpelli a percussione lasciano una certa traccia, "lucidando" i diedri dei coltelli e conservandone abbastanza netto il filo.

Anche nell'attraversamento di argille sabbiose si risente coi suoi inconvenienti la presenza nel fango di elementi abrasivi difficilmente eliminabili per semplice decantazione. Il tubaggio non offre difficoltà in tali rocce. I banchi potenti di argille sabbiose, pur non presentando l'impermeabilità caratteristica delle argille grasse, possono tuttavia costituire ottime coperture per giacimenti mineralizzati: tanto più se inglobano strati di argilla pura, anche relativamente sottili, purché di rilevante estensione. La semipermeabilità di questi terreni fa sì che frequentemente, quando sono di copertura a strati mineralizzati, esse presentino delle manifestazioni fluide premonitorie: le argille sabbiose sono incapaci di dare vere erogazioni (a meno che non si tratti piuttosto di sabbie poco argillose); ma i veli di sabbia sono tuttavia frequentemente pregni di minerale fluido, gas o petrolio, ivi accumulato nel corso dei secoli, che può mostrare tracce più o meno abbondanti al perforatore attento.

1.6.4. Marne

Come già visto, le marne sono rocce sedimentarie costituite di argilla e calcare o argilla e dolomia in diverse proporzioni, a seconda delle quali possono distinguersi in argille marnose (10-30% di calcare), marne argillose, marne (50-70%), calcari marnosi (70-90%). Si trovano frequentemente in strati sovrapposti con tenori di calcare alquanto diversi; presentano un colore grigio o giallo, qualche volta colorate in rosso da ossidi di ferro, o in bruno da sostanze organiche. Hanno un peso specifico compreso fra quello delle argille (2.2) e quello del calcare (2.8).

Il tenore di calcare può essere denunciato dalla più o meno viva reazione della roccia con acido cloridrico; tuttavia la presenza di dolomia, in questo acido solubile solo a caldo, può indurre in errore. La compattezza della roccia aumenta fortemente col tenore di calcare; essa è però sempre di perforazione abbastanza facile con ogni sistema; la diversità di resistenza di strati sovrapposti inclinati può presentare, se forte, un certo pericolo di deviazione. Marne povere di calcare hanno tendenza a rigonfiare e anche a spappolarsi; nella perforazione a secco è utile alle volte dimagrirle con sabbia. Le marne ricche di calce si presentano spesso fratturate, nel qual caso perdono molto il loro carattere di discreta impermeabilità.

1.6.5. Arenarie

Le arenarie sono delle sabbie i cui granelli sono legati da cementi di diversa natura: silicea, calcarea, marnosa, argillosa. Anche qui la grossezza dei granuli, la loro natura, la loro forma distinguono diverse specie di arenarie. Di colori diversi secondo il cemento, ma in generale sul grigio cenere o sul grigio giallognolo, la frattura a spigoli vivi, l'asperità al tatto, la facilità con la quale quasi sempre si distinguono i granuli sabbiosi dal cemento permettono di riconoscere facilmente tali rocce. Il loro peso specifico è 2.2+2.5. La qualità del cemento, generalmente formatosi per fenomeni diagenetici, avvenuti mentre la roccia si costituiva o poco dopo, è quella che maggiormente influisce sulla resistenza della roccia alla perforazione, sia a percussione che a rotazione: le più dure sono quelle a cemento siliceo; quelle a cemento calcareo si sgretolano quasi sempre senza troppa difficoltà; quelle a cemento marnoso o argilloso, se i vani sono completamente riempiti, presentano ancora una certa consistenza, e la roccia si distingue dall'argilla sabbiosa solo per una più uniforme distribuzione dei due componenti e per una maggiore compattezza; se il riempimento non fosse completo, il cemento di natura argillo-marnosa presta alla roccia debole resistenza.

Il grado di cementazione e cioè l'occupazione più o meno integrale dei vani dei granuli da parte della materia cementante, oltre a influire anch'esso con la compattezza della roccia, porta a gradi di porosità e permeabilità assai diversi. Si incontrano arenarie compatte quasi impermeabili e arenarie porose e permeabili, sedi di abbondantissime mineralizzazioni fluide.

Le arenarie, come le sabbie, si incontrano in strati di varia potenza, quasi sempre modesta, alternati a stratificazioni di argille, marne o argille sabbiose.

La perforazione di queste rocce è raramente difficile a percussione: spesso anzi, se il cemento è calcareo o la cementazione incompleta, sono fra le rocce che a percussione si perforano più facilmente; e tuttavia occorre attenzione perché lo scalpello, e in specie quello normale, si può incastrare fortemente nelle arenarie dure. A rotazione esse consumano fortemente i trapani, anche caricati di leghe dure, e obbligano quindi a frequenti manovre per ricambiare l'attrezzo; con certi tipi di arenaria conviene l'uso di trapani ad elementi rotativi, atti appunto a perforare a rotazione le rocce dure.

Le arenarie ad elementi quarzosi e cemento siliceo, a struttura criptocristallina o compatta amorfa come la pietra focaia, di color bruno o rosso, spesso variegata, a frattura concoide, molto consistenti e durissime, sono forse le rocce più difficili da perforare.

L'attraversamento delle arenarie, specie a grana grossa e media, produce sugli scalpelli

a percussione un segno caratteristico, consumando le facce e diedro dei coltelli in modo da lasciare il filo in sensibile rilievo.

1.6.6. Ghiaie

Le ghiaie sono terreni clastici incoerenti, prodotti da depositi di detriti più o meno arrotondati di rocce preesistenti, generalmente eterogenee, trascinati da acque correnti o prodotti dalle maree e dal moto ondoso del mare; le prime hanno elementi ellissoidali, le seconde elementi piuttosto discoidali. Dal tipo di roccia che ne costituisce l'elemento prevalente si distinguono in ghiaie calcaree, quarzose, etc.

La dimensione degli elementi in uno stesso strato è generalmente assai variabile, da ciottoli di dimensioni notevoli fino a sassolini che si avvicinano alle sabbie; e spessissimo la sabbia è mescolata alla ghiaia in proporzioni svariate.

Si incontrano in banchi raramente molto potenti, specialmente negli orizzonti alluvionali superficiali, alternate con argille, sabbie e conglomerati. La loro porosità e permeabilità sono quasi sempre elevate e dipendono dalla diversità più o meno grande degli elementi accozzati e la permeabilità anche dalle dimensioni medie di essi.

La perforazione delle ghiaie presenta difficoltà con ogni sistema: a percussione lo scalpello schiva i ciottoli più grossi e più duri, i quali rimangono quindi spesso sporgenti dalla parete, e piuttosto che tagliarli li svelle dalla roccia: ne risulta una parete irregolare, tutta sporti e cavità; l'efficacia della percussione è minima nel mucchio di ciottoli rotondeggianti del fondo: lo scalpello tenta di attraversarli, spostandoli in ogni senso, e riesce difficilmente a sminuzzarli; la facilità della caduta di elementi piccoli e grossi dalla parete mette lo scalpello al rischio di restare incuneato. A ridurre qualcuno di questi inconvenienti, è opportuno lavorare con fango molto denso al fondo, gettando nel pozzo pezzi di argilla plastica.

Nella perforazione a secco invece dello scalpello è preferibile usare la cucchiaia, la quale, essendo rotonda e cilindrica, fa una parete più regolare, ha una maggiore efficacia di scavo, non essendo costretta a spezzare i ciottoli, a meno che non siano così grossi da non passare per la valvola tutta aperta (è perciò preferibile scavare con diametri grandi). La perforazione idraulica è spesso ostacolata dalla difficoltà di ottenere circolazione in un terreno eminentemente permeabile per sua natura e di solito facente parte di orizzonti alluvionali poco profondi che "bevono" avidamente; oltre a ciò, se si usa lo scalpello a percussione e trapano a rotazione, si va incontro alle difficoltà già accennate per la perforazione a secco; in particolare, il sistema rotativo può presentare pericoli per l'integrità del trapano se si incontrino ciottoli grossi; per esso occorre adottare un avanzamento lento e regolarissimo, fango pesante e corrente ascensionale veloce.

La perforazione idraulica a corona va incontro a minori difficoltà nell'attraversamento della ghiaia: esiste però sempre quella della probabile mancanza di circolazione.

Il tubaggio a secco in ghiaia è anch'esso difficile, se essa è sciolta o contiene ciottoli grossi: nel primo caso la ghiaia, come la sabbia, può entrare in colonna, sì che conviene spesso perforare con la scarpa battuta contro il fondo; e le frequenti frane, anche se limitate a poco volume, ostacolano in seguito fortemente la manovra della colonna, che non si può più sollevare senza difficoltà con la taglia, e che anche battuta avanza stentatamente: è utile in tali casi "scaricare" la colonna, ossia alzarla anche decine di metri,

finché i ciottoli adunatisi alle sue spalle cadano al fondo ed essa torni libera nel foro. I ciottoli grossi sporgenti dalla parete possono ostacolare fortemente il passaggio della scarpa, la quale con difficoltà riesce a tagliarli e tende piuttosto ad incunearsi, spesso così fortemente da ovalizzarsi o schiacciarsi in un punto singolare o sbrecciarsi. Anche il tubaggio coi sistemi idraulici, che si esegue dopo aver compiuto il foro rispettivo di diametro ben maggiore della colonna, può essere ostacolato da improvvisi smottamenti, spesso provocati dal violento rimescolamento del fango nell'intercapedine fra colonna e terreno, che avviene durante il tubaggio.

1.6.7. Conglomerati e brecce

Quando le ghiaie vengono cementate per fenomeni di diagenesi, ad opera del costipamento o di acque di infiltrazione che depositino i sali in esse disciolti, etc., esse danno luogo ai conglomerati. Analogo processo dà luogo alle brecce, quando la cementazione, anziché sulle ghiaie, avvenga su rocce frammentate ma rimaste in posto: gli elementi legati sono allora tutti di una specie e a spigoli vivi.

La compattezza, la porosità e la permeabilità di queste rocce dipendono dalla natura degli elementi cementati, dalla natura del cemento e dal grado di cementazione. Si incontrano raramente in banchi potenti e di solito sono alternate con ghiaie e terreni alluvionali.

La perforazione e l'allargamento di queste rocce non presentano in genere difficoltà, finché la consistenza dei ciottoli non sia troppo diversa nei diversi punti attaccati dallo scalpello o dal trapano; per questa ragione, nelle brecce il lavoro è più facile. Se la consistenza degli elementi legati è grande, si hanno naturalmente le difficoltà proprie delle rocce dure. Gli attrezzi di perforazione risentono ai coltelli gli effetti caratteristici delle rocce a cui appartennero gli elementi ghiaiosi, nonché quelli della natura del cemento: logorandosi contro elementi silicei, e sbrecciandosi o ricalcandosi contro elementi molto consistenti, come certi calcari dolomitici, basalti, graniti, etc. i trapani a rotazione possono venire consumati in modo irregolare da qualche ciottolo più duro, che ne sagomierà simmetricamente le due ali, scavandovi solchi anche profondi; gli scalpelli a percussione possono analogamente riportare un appiattimento del filo del coltello.

1.6.8. Calcari

I calcari sono rocce costituite prevalentemente da carbonato di calcio: depositi di resti organici, precipuamente frammenti di conchiglie, assoggettati a compressioni più o meno forti, completamente o in parte ricementati, e spesso anche cristallizzati (come i marmi); ovvero banchi prodotti da animali marini, quali i coralli, che a poca profondità sotto la superficie, e quindi presso le coste, hanno costruito scogliere calcaree colossali, di centinaia di metri di spessore, fissando il carbonato di calcio e il carbonato di magnesio disciolti nell'acqua marina (esempio: le dolomiti); ovvero anche concrezioni di acque cariche di bicarbonato di calcio (alabastro calcareo, travertino), che evaporando in spaccature, caverne, o alla superficie del suolo, perdono anidrite carbonica e depongono carbonato di calcio. Queste diverse origini e le diverse azioni diagenetiche e metamorfiche subite dai depositi, nonché le diverse impurità (argilla, mica, carbonato di magnesio) determinano strut-

ture svariatissime, con caratteri di resistenza meccanica, di porosità, etc. molto diversi. L'aspetto esterno è anch'esso variabilissimo: dai calcari metamorfici cristallini, compatti e duri, quali i marmi bianchi o diversamente colorati, ai calcescisti, che la presenza di mica rende di aspetto fibroso, di colore grigio; agli alabastrini omogenei, translucidi e teneri; ai travertini, di aspetto vacuolare e poroso per la presenza di elementi organici inglobati e poi scomparsi, ma spesso resistentissimi, di colore bianco giallognolo, spesso maculati di un marrone scuro; dai calcari di scogliera, quasi sempre compatti e resistenti, altre volte quasi friabili (costruiti per opera di alghe dette *nullipore*); ai depositi di calcari marnosi, di grana finissima e molto omogenea, grigi o giallognoli, di consistenza varia ma sempre facilmente lavorabili; agli ammassi di aspetto terroso, come la creta, etc. La permeabilità, a meno che non si tratti di roccia fratturata, è in ogni caso piccolissima. Peso specifico 2.45-2.85. Reazione chimica caratteristica di tutti questi calcari è la facile dissoluzione in acido cloridrico, con abbondante sviluppo di anidrite carbonica. La perforazione delle rocce calcaree è più o meno rapida secondo la loro maggiore o minore consistenza, naturalmente, ma non presenta mai serie difficoltà, salvo che nei casi di fessurazioni, frequenti in tali rocce: specialmente nella perforazione rotativa, esse sono di ostacolo, potendo bere forti quantità di fango e intralciando il lavoro del trapano. Gli scalpelli a percussione si consumano e si arrotondano al filo dei coltelli.

1.6.9. Dolomie

Le dolomie sono rocce analoghe alle calcaree di scogliera, composte di carbonato doppio di calcio e magnesio. Si presentano in banchi e scogliere, spesso potentissimi, alle volte cavernosi, altre volte compatti e cristallini, o fibrosi e scistososi, raramente terrosi. Di colore grigio chiaro, di peso specifico 2.8-2.9, sono generalmente più consistenti del calcare. La reazione con l'acido cloridrico è più debole e si fa vivace solo a caldo. La perforazione di queste rocce presenta caratteri analoghi a quelli dei calcari, ma è sensibilmente più lenta.

1.6.10. Trachiti

Le trachiti sono rocce composte ed effusive (e cioè eruttive, uscite e raffreddatesi in superficie, e generalmente di struttura vetrosa o semi-vetrosa), di colore grigio o giallo scuro; possono distinguersi in due tipi: quarzifere, di struttura porfirica, a cristalli disseminati in una pasta amorfa in quantità variabile, le quali presentano una certa consistenza e che hanno un potere abrasivo per i cristalli di quarzo che contengono (per questa ragione le qualità dure vanno perforate a rotazione con trapani a elementi rotativi); l'altro tipo, esente da quarzo, spesso di facilissima perforazione (tufi) sono rocce a cui appartiene anche la pozzolana (roccia terrosa, usata in costruzioni edili in aggiunta alla calce grassa, per dare alla malta caratteri idraulici).

1.6.11. Serpentiniti

Le serpentiniti sono rocce semplici (idrosilicato di magnesio e poco ferro), alterazione di rocce intrusive (e cioè eruttive, raffreddatesi e consolidatesi lentamente in profon-

dità e pertanto cristallizzate); si presentano in masse compatte o granulari o fibrose, generalmente di colore verde scuro, mediamente dure (3-4 della scala di Mohs), di peso specifico 2.4-2.5. Non offrono difficoltà speciali alla perforazione.

1.6.12. Basalti

I basalti sono altre rocce composte effusive, che però alle volte sono quasi completamente cristallizzate. Si presentano in blocchi spesso poliedrici colonnari, di colore grigio scuro, molto pesanti (peso specifico 2.7÷3.3), a frattura ruvida, di grande consistenza. Sono spesso di perforazione difficile, ricalcano facilmente gli scalpelli a percussione, consumano i trapani a rotazione.

1.6.13. Graniti

I graniti sono rocce intrusive composte, di grande consistenza e durezza, completamente cristallizzate ad elementi all'incirca di dimensioni uguali fra loro, di colore chiaro (dovuto alla preponderante presenza di quarzo e di ortose), presentanti piccoli nodi nerastri dovuti alla mica (che si presenta in lamelle facilmente riconoscibili) e ad altri minerali, spesso colorate in roseo. Queste rocce sono delle più dure a perforare, e a rotazione richiedono l'impiego di trapani ad elementi rotativi.

1.7. Stratigrafia – Tettonica

I movimenti a cui, come abbiamo visto, è stata assoggettata da forze interne la crosta terrestre e che hanno determinato la formazione dei rilievi (*orogenia*) e i fenomeni di trasporto, di sedimentazione, di concrezione, etc., hanno lasciato generalmente la loro impronta più o meno visibile nella struttura e nella ordinata o discordante successione delle rocce; dall'esame di tali strutture, successioni o discordanze di strati (*stratigrafia*) il geologo può risalire ai movimenti e alle forze a cui essi furono soggetti durante e dopo la loro formazione; questo studio costituisce quella parte della geologia che si chiama *tettonica* (e che significa appunto conoscenza della costruzione, dell'impalcatura). Stratigrafia e tettonica sono aspetti molto interessanti per il perforatore, per la tecnica del suo lavoro e principalmente per quanto si riferisce agli orizzonti pregni di minerali fluidi. Questi ultimi difatti, a differenza dei minerali solidi, hanno la tendenza a migrare attraverso terreni permeabili, e a raccogliersi là dove trovano le opportune condizioni di equilibrio e di conservazione. Si ritiene opportuno dunque dare qualche cenno di stratigrafia.

Osserviamo innanzitutto che almeno le rocce sedimentarie, le quali più ci interessano, all'atto della loro formazione presentavano generalmente una superficie libera orizzontale o sub orizzontale, e si sono disposte in strati sovrapposti, presentanti caratteri litologici e paleontologici simili o lentamente digradanti su aree estese e caratteri invece anche molto diversi in strati successivi: ciò deriva immediatamente dalla loro genesi, poiché ogni sedimentazione, particolarmente in acqua, tende, per le forze di gravità agenti, a estendersi nel senso orizzontale; e anche se le superfici di separazione fra strati successivi non fossero state orizzontali alla loro formazione, esse normalmente dovevano pre-

sentarsi parallele, o quasi, su estensioni grandi relativamente allo spessore degli strati.

I complessi sedimentari costituiscono pertanto pacchi di strati diversi sovrapposti, con caratteri analoghi per ogni strato; di essi le forze geologiche hanno successivamente potuto modificare, anche in modo molto notevole, la pendenza, la forma delle superfici di contatto, la continuità, gli spessori, etc.

Poiché molto spesso e quasi sempre quando c'è una variazione anche piccola nella natura delle rocce sovrapposte, è riconoscibile il passaggio fra l'uno e l'altro strato, se si suppone di fare una sezione verticale nel terreno e di esaminare una faccia di questa sezione, vi si potrà individuare la successione degli orizzonti: e se, per esempio, vi si troveranno i diversi strati ciascuno di spessore uniforme e orizzontali o quasi, si potrà supporre di trovarsi in presenza di depositi sedimentari avvenuti in tranquillità e non alterati da forze endogene, o quanto meno uniformemente sollevati o abbassati: se invece si trova la separazione tra i successivi strati piegata, o gli starti di spessore molto variabile, o discordanze nella loro successione, se ne concluderà al contrario che sotto la spinta di forze immani quegli strati sono stati deformati.

Difficilmente può effettuarsi un tale taglio verticale per una certa estensione e profondità: più spesso, il geologo trae partito da pareti naturalmente erose o meno regolari e inclinate e dall'esame delle rocce affioranti in superficie (scoperte principalmente in corrispondenza a fratture o erosioni) per giudicare della stratigrafia e della tettonica di una regione; e se ciò non basta, fora su determinati allineamenti pozzi verticali, esaminando attentamente i campioni estratti dalle diverse profondità, rilevandone possibilmente anche l'inclinazione e la direzione; e si serve dei dati così raccolti per collegare in un profilo presunto gli starti corrispondenti.

Le forme che più interessano sia per la progettazione di infrastrutture sia per i giacimenti di petrolio e di gas sono denominate:

- anticlinali;
- sinclinali;
- monoclinali;
- rovesciamenti;
- cupole;
- faglie;
- scorrimenti;
- discordanze;
- estrusioni.

Le anticlinali e sinclinali sono l'effetto stratigrafico di una piega della crosta terrestre, o meglio dire di un corrugamento. La sfera terrestre costretta dal raffreddamento a diminuire di volume, e quindi anche di superficie, ha corrugato la sua crosta proprio come fa la buccia di un frutto quando si secca. Le catene montagnose sono il risultato di una serie complicata di imponenti corrugamenti, fra i quali si distinguono in generale alcuni principali e altri secondari, paralleli e anche trasversali. L'asse di un corrugamento è in generale orizzontale o quasi; può però presentarsi anche molto inclinato, o per complicazioni della sua genesi, o per effetto di ulteriori movimenti geologici. Se si immagina di fare quella tale sezione ideale in corrispondenza di un corrugamento, perpendicolarmente al suo asse longitudinale, si troverà che gli strati sono disposti

come mostrato nella figura 1.20: la parte superiore delle ondulazioni, con la convessità disposta verso l'alto chiamasi *anticlinale*; la parte che presenta verso l'alto la concavità si chiama *sinclinale*.

Non sempre il corrugamento è completo e non sempre si succedono, come in figura 1.20, anticlinale e sinclinale: spesso si trova solo l'una o solo l'altra.

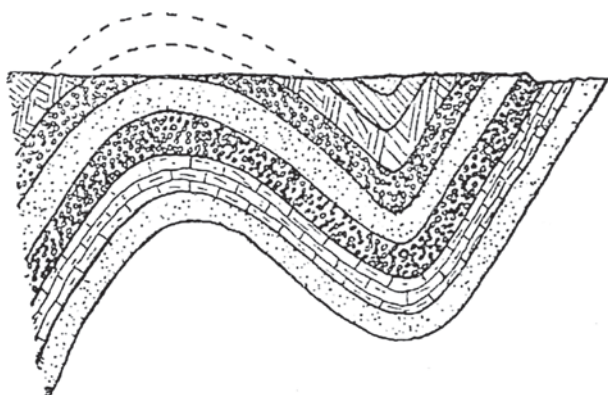


Figura 1.20. Esempio di anticlinale e sinclinale

Accade che di una anticlinale, a causa di erosioni o di ulteriori movimenti, non rimanga più che un lato, o quanto meno che di essa solo un lato sia riconoscibile; la sezione presenterà allora gli strati paralleli o quasi, tutti con la pendenza diretta da una stessa parte (figura 1.21); questa è una forma stratigrafica che si chiama *monoclinale*.

Elementi interessanti in queste forme sono la direzione e la inclinazione degli strati: la prima è data dalla direzione magnetica dell'asse longitudinale e si conserva spesso per lungo tratto costante o poco variabile; la seconda è data dall'angolo che la linea di pendenza massima in un certo punto della falda fa con l'orizzontale: esso, come indica la figura, è generalmente variabile da zero, sul colmo dell'anticlinale, gradualmente a

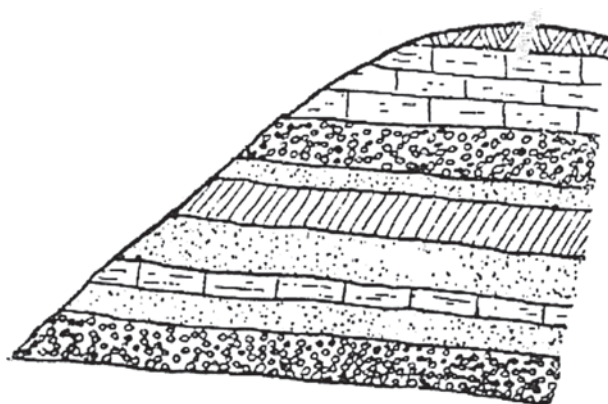


Figura 1.21. Esempio di forma stratigrafica monoclinale

un valore massimo, verso la metà della falda, per poi decrescere di nuovo fino a zero al fondo della sinclinale.

Si ha un rovesciamento quando il corrugamento è stato tanto pronunciato da determinare un ribaltamento sul fianco: si ha allora in sezione la forma indicata nella figura 1.22. Come in ogni altro caso, anche qui gli strati possono aver subito in seguito ulteriori spostamenti e specialmente corrosioni, cosicché il colmo dell'anticlinale rovesciato potrebbe essere scomparso; ma le pendenze dei singoli strati tutte da una parte non indurranno in errore il geologo, che osservi sulla superficie del terreno la traccia di una successione inversa nella loro caratteristica natura.

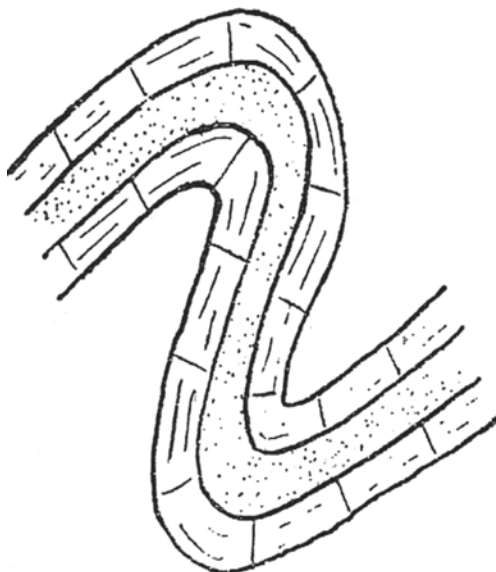


Figura 1.22. Esempio di rovesciamento degli strati

Quando il sollevamento del suolo, anziché essersi prodotto lungo una linea, è stato provocato da una spinta localizzata diretta dal basso verso l'alto, gli strati assumono l'aspetto a cupola: qualunque sezione si faccia in essa intorno a un asse verticale, si otterrà una figura analoga alla sezione di un'anticlinale.

Altre volte, una successione di strati, ancora nello stato originale quasi orizzontale, o più spesso già inclinati, è stata fratturata da forze endogene e una parte è scorsa sull'altra; invece di una continuità risulta nella sezione una discontinuità, che mette in prosecuzione l'uno dell'altro strati di natura diversa: questa è la faglia o frattura (figura 1.23); spesso la linea di frattura è più o meno aperta e costituisce quasi una via di comunicazione con l'esterno; altre volte la spaccatura si è in un secondo tempo colmata di altra roccia, specialmente depositatavi dalle acque (concrezioni).

Se gli strati di un certo periodo geologico si sono sovrapposti su strati più vecchi in parte erosi o comunque mancanti, si ha una discordanza (figura 1.24); l'apparente successione degli strati è in tal caso fallace.

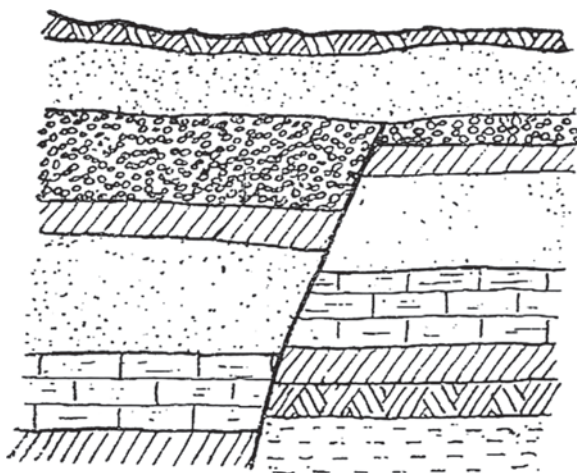


Figura 1.23. Esempio di faglia

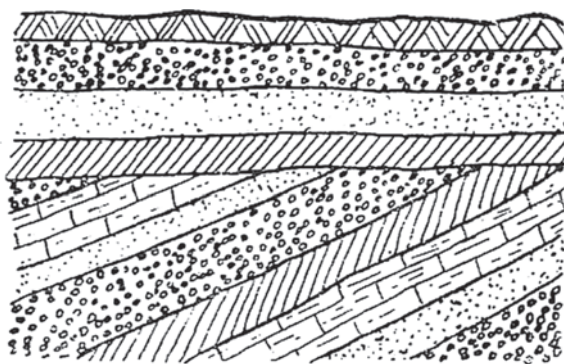


Figura 1.24. Esempio di discordanza

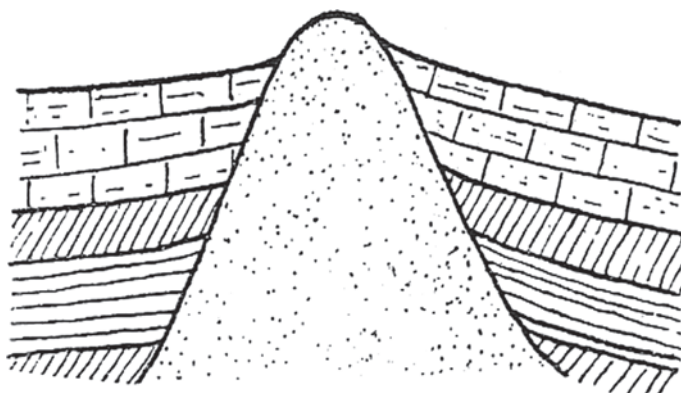


Figura 1.25. Esempio di estrusione

Se la spinta verticale, analoga a quella che produce una cupola, è riuscita non solo a sollevare gli strati superiori, bensì anche a sfondarli e a determinare attraverso orizzonti più giovani la fuoriuscita di rocce più antiche, si ha una estrusione, che può essere parziale, ovvero totale con fuoriuscita del diapiro all'esterno, come in figura 1.25. Anche tali estrusioni sono spesso una via aperta a manifestazioni di minerali fluidi dalle profondità del suolo.

1.8. Resistenza dei terreni e delle rocce e stabilità delle pareti di una perforazione

1.8.1. La roccia intatta

Come noto, un ammasso roccioso è normalmente interessato da discontinuità o giunti e anche da fratture di notevole estensione come le faglie. L'ammasso roccioso si può assimilare di solito a un insieme di blocchi separati da giunti o discontinuità. Il termine "materiale roccioso" si riferisce pertanto alla roccia intatta compresa all'interno delle diverse discontinuità. In altre parole, si tratta del volume roccioso unitario, vale a dire il volume di roccia integra separato dalle discontinuità presenti nell'ammasso roccioso. In verità nel materiale roccioso "integro" si ha sempre la presenza di micro-fratture che tuttavia devono essere considerate e analizzate in maniera diversa rispetto alle fratture vere e proprie. Il materiale roccioso o roccia intatta differisce dall'ammasso roccioso che si riferisce alle condizioni della roccia presente in sito con le sue famiglie di discontinuità e condizioni di alterazione. Il materiale roccioso ha le caratteristiche mostrate nella figura 1.26.

Bray (1967) ha dimostrato che se la roccia contiene dieci o più famiglie di discontinuità (giunti), allora il suo comportamento può essere approssimato a quello di un ammasso

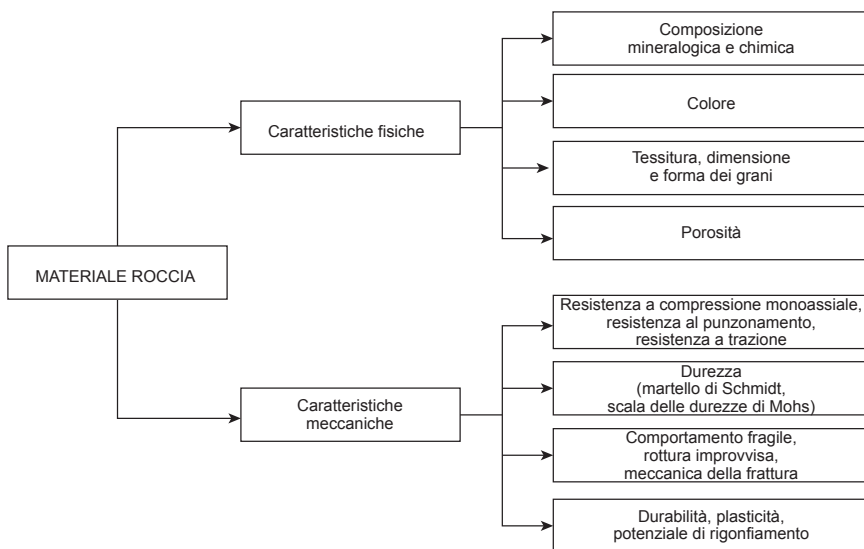


Figura 1.26. Caratteristiche della roccia intatta