

Direttore

Luigi ESPOSITO

Università degli Studi di Napoli "Federico II"

Comitato scientifico

Nicola SCIARRA

Università degli Studi di Chieti

Antonio PASCULLI

Università degli Studi di Chieti

Luciano ROSATI

Università degli Studi di Napoli "Federico II"

GEOLOGIA APPLICATA E GEOTECNICA

Questa collana si occupa di analisi dei problemi di geologia applicata e geotecnica attraverso i risultati di indagini in sito, indagini di laboratorio e modellazione numerica.

I volumi pubblicati sono stati valutati secondo il sistema di revisione tra pari (*peer review*).

Amedeo Wolfango Esposito
Luigi Esposito

L'indagine geotecnica di sito

Seconda edizione





Aracne editrice

www.aracneeditrice.it
info@aracneeditrice.it

Copyright © MMXVIII
Gioacchino Onorati editore S.r.l. – unipersonale

www.gioacchinoonoratieditore.it
info@gioacchinoonoratieditore.it

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

ISBN 978-88-255-0433-0

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

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

I edizione: agosto 2012
II edizione: maggio 2018

Questa seconda edizione è dedicata alla memoria del nostro caro fratello Tommaso.

15 *Prefazione alla seconda edizione*

Parte I

Programmazione delle indagini, tecniche di perforazione e campionamento in rocce sciolte e lapidee

19 Capitolo I

Esplorazione del sottosuolo

1.1. Premessa, 19 – 1.2. Organizzazione di un programma d'indagini geognostiche, 20 – 1.3. Indagine per lo studio di fattibilità, 21 – 1.4. Indagine geognostica per il progetto di massima, 24 – 1.5. Indagine geognostica per il progetto definitivo, 28 – 1.6. Alcune indicazioni dell'EROCODICE 7 sulla programmazione delle indagini, 30.

41 Capitolo II

Mezzi d'indagine per il rilievo stratigrafico

2.1. Introduzione, 41 – 2.2. Metodi diretti per il rilievo stratigrafico, 41 – 2.2.1. Scavi, 41 – 2.2.2. Perforazioni di sondaggio, 42 – 2.3. Tecniche di perforazione e di campionamento, 44 – 2.4. Tecniche ed attrezzature per il prelievo di campioni intatti o a disturbo limitato, 49 – 2.5. Effetti del campionamento sulle caratteristiche dei terreni, 54.

61 Capitolo III

Perforazioni di sondaggio in materiali lapidei

3.1. Generalità, 61 – 3.2. Attrezzature e tecniche di perforazione, 61 – 3.3. Tecnica per ottenere campioni significativi, 68 – 3.4. Stabilità e controllo della direzione del foro, 70.

77 Capitolo IV

Metodi indiretti per il rilievo delle stratigrafie

4.1. Premessa, 77 – 4.2. Rilievo della stratigrafia per mezzo delle indagini geofisiche, 77 – 4.2.1. Generalità, 77 – 4.2.2. Onde di massa o di volume, 78 – 4.2.3. Le onde primarie, 78 – 4.2.4. Onde secondarie, 79 – 4.2.5. Onde di superficie, 79 – 4.3. Indagini geofisiche in sito, 83 – 4.3.1. Generalità, 83 – 4.3.2. Sismica a rifrazione, 84 – 4.3.3. Metodo basato sulle onde di Rayleigh, 92 – 4.3.4. Interpretazione delle prove MASW, 96 – 4.3.5. Problemi e limitazioni delle prove MASW, 97 – 4.4. Indagine geoelettrica, 98 – 4.5. Interpretazione dell'indagine geoelettrica, 101 – 4.6. Problemi e limitazioni, 101 – 4.7. Prove penetrometriche quasi statiche (C.P.T.), 102 – 4.7.1. Generalità, 102 – 4.7.2. Attrezzature per l'esecuzione delle CPT, 103 – 4.7.3. Penetrometri, 105 – 4.7.4. Penetrazione della punta e lettura della resistenza laterale locale, 105 – 4.7.5. Sistemi di spinta del penetrometro, 111 – 4.8. Rilievo della stratigrafia da prove CPT, 111 – 4.8.1. Generalità, 111 – 4.8.2. Metodi per la ricostruzione stratigrafica, 112 – 4.8.3. Considerazioni aggiuntive sulla determinazione della stratigrafia da prove CPT: Assetto stratigrafico di un terreno stratificato, 115.

123 **Capitolo V**
Rapporto sulle indagini eseguite e presentazione dei risultati

127 **Capitolo VI**
Determinazione dello stato iniziale di tensione

6.1. Premessa, 127 – 6.2. Determinazione dello stato tensionale iniziale nelle rocce sciolte, 128 – 6.2.1. *Considerazioni di carattere generale*, 128 – 6.2.2. *Simulazione della consolidazione in prove di laboratorio*, 129 – 6.3. Prove e misure in sito per la determinazione dello stato iniziale di tensione in rocce sciolte, 132 – 6.3.1. *Pressiometro tipo MENARD*, 133 – 6.3.2. *Pressiometro autop perforante*, 135 – 6.3.3. *Iowa stopped blade o lama graduata*, 135 – 6.3.4. *Prova di fratturazione idraulica*, 137 – 6.3.5. *Prova CPT per la determinazione della storia di stato tensionale*, 137 – 6.3.6. *Misura con la cella K_0 del pressiometro autop perforante*, 146 – 6.3.7. *Misura per mezzo di celle di pressione totale*, 146 – 6.3.8. *Tecniche per l'installazione delle celle di pressione totale*, 154 – 6.3.9. *Installazione delle celle di pressione totale in materiali lapidei o in conglomerati cementizi*, 156.

161 **Capitolo VII**
Determinazione dello stato iniziale di tensione nei materiali lapidei

7.1. Generalità, 161 – 7.2. Parametri che influenzano lo stato tensionale in sito degli ammassi rocciosi, 165 – 7.2.1. *Peso proprio nel caso di piano campagna orizzontale*, 165 – 7.2.2. *Influenza della topografia*, 166 – 7.2.3. *Influenza del precarico*, 170 – 7.2.4. *Effetto dei carichi tettonici*, 172 – 7.3. Procedure per la misura della rimozione delle tensioni in foro, 173 – 7.3.1. *Cella triassiale*, 173 – 7.3.2. *“Doorstopper” o cella biassiale*, 179 – 7.3.3. *Metodo della compensazione*, 182 – 7.3.4. *Approfondimento del foro*, 186.

191 **Capitolo VIII**
La diaGRAFIA continua. Rilievo dei dati di perforazione

8.1. Premessa, 191 – 8.2. Finalità della prova, 191 – 8.3. Attrezzatura, 192 – 8.4. Sistema di misura, 195 – 8.4.1. *Sensori per la misura della pressione idraulica*, 196 – 8.4.2. *Sistema per la misura della lunghezza di perforazione*, 196 – 8.4.3. *Sistema di misura della portata media del fluido di perforazione*, 196 – 8.4.4. *Sistema per la misura della velocità di rotazione*, 197 – 8.4.5. *Misurazione dell'energia del maglio*, 197 – 8.4.6. *Vibrazioni riflesse*, 197 – 8.4.7. *Misura del tempo*, 197 – 8.5. Requisiti specifici per le misurazioni MWD, 197 – 8.5.1. *Scelta dei parametri da misurare*, 197 – 8.6. Scelta dell'attrezzatura e procedura di prova, 198 – 8.7. Fattori che possono influenzare i risultati dell'MWD, 199 – 8.7.1. *Influenza dello strumento di scavo*, 199 – 8.7.2. *influenza dell'attrezzatura di perforazione*, 200 – 8.7.3. *influenza dell'operatore*, 200 – 8.8. Procedura di prova, 200 – 8.8.1. *Generalità*, 200 – 8.8.2. *Posizionamento e controllo dell'attrezzatura di perforazione*, 200 – 8.8.3. *Operazioni necessarie per l'esecuzione delle misure*, 202 – 8.8.4. *Procedura di perforazione*, 202 – 8.9. Frequenza della registrazione dei parametri, 203 – 8.10. Registrazione della profondità di perforazione, 204 – 8.11. Completamento della prova, 204 – 8.12. Risultati della prova, 205 – 8.12.1. *Generalità*, 205 – 8.12.2. *Misura della velocità di perforazione*, 205 – 8.12.3. *Pressione di spinta verso il basso*, 205 – 8.12.4. *Spinta netta verso il basso*, 206 – 8.12.5. *Pressione di flusso del fluido di perforazione*, 206 – 8.12.6. *Coppia di rotazione della testa di perforazione*, 207 – 8.13. Risultati della prova, 207 – 8.13.1. *Generalità*, 207 – 8.13.2. *Relazione generale dei risultati delle prove*, 208 – ALLEGATO A, 210 – ALLEGATO B, 212 – ALLEGATO C, 215 – ALLEGATO D, 224.

Parte II

Caratterizzazione in sito delle rocce sciolte e lapidee

- 233 **Capitolo I**
Determinazione della resistenza a taglio delle rocce sciolte
- 1.1. Premessa, 233 – 1.2. Prove penetrometriche, 234 – 1.2.1. *La Prova S.P.T.*, 234 – 1.2.2. *Determinazione della resistenza a taglio con prove S.P.T.*, 236 – 1.2.3. *Determinazione della densità relativa, o indice di densità*, 236 – 1.2.4. *Norme dell'EUROCODICE relative alle prove S.P.T.*, 239 – 1.3. Prova D.P.T. (Norma EN ISO 22476 – 2), 245 – 1.3.1. *Termini e definizioni*, 246 – 1.3.2. *Attrezzatura*, 247 – 1.3.3. *Attrezzature opzionali*, 248 – 1.3.4. *Controllo dell'attrezzatura e sua taratura*, 248 – 1.3.5. *Sistema di spinta*, 249 – 1.4. *Procedura di prova*, 249 – 1.4.1. *Preparazione della prova*, 249 – 1.4.2. *Esecuzione della prova*, 251 – 1.5. *Requisiti di sicurezza*, 251 – 1.5.1. *Interpretazione della prova*, 252 – 1.5.2. *Rapporto di sito*, 252 – 1.5.3. *Rapporto di prova*, 252 – 1.6. *Fattori aggiuntivi che possono influenzare il sondaggio dinamico*, 253 – 1.6.1. *Generalità*, 253 – 1.7. *Influenza geotecnica*, 254 – 1.7.1. *Influenza del tipo di terreno, del gruppo del terreno e delle caratteristiche del sottosuolo*, 254 – 1.7.2. *Influenza dell'acqua di falda*, 254 – 1.7.3. *Influenza dell'attrezzatura*, 254 – 1.8. *Prove CPT*, 272 – 1.8.1. *Studi recenti per la determinazione dei parametri di resistenza da prove C.P.T.*, 278 – 1.8.2. *Norme dell'EUROCODICE per le C.P.T.*, 290 – 1.9. *Prove scissometriche (Vane test)*, 293 – 1.10. *Prove pressiometriche*, 297 – 1.11. *Prova dilatometrica (D.M.T.)*, 304 – 1.12. *Prove di taglio in foro di sondaggio (B.H.S.T.)*, 307.
- 317 **Capitolo II**
Determinazione della resistenza a taglio dei materiali lapidei
- 2.1. *Generalità*, 317 – 2.2. *Tecniche per l'esecuzione della prova*, 321 – 2.3. *Prove di taglio in sito condotte con apparecchi portatili*, 327 – 2.4. *Sommario dei punti principali*, 330.
- 331 **Capitolo III**
Determinazione con prove in sito della permeabilità degli ammassi rocciosi
- 3.1. *Generalità*, 331 – 3.2. *Osservazioni sulla circolazione idrica sotterranea*, 332 – 3.3. *Determinazione della permeabilità attraverso le prove Lugeon*, 334 – 3.3.1. *Modalità esecutive della prova e problemi relativi alla misura delle grandezze in gioco*, 334 – 3.3.2. *Teoria della propagazione dell'acqua in una discontinuità intersecata dal foro*, 342 – 3.4. *Apertura ed erosione delle discontinuità durante la prova Lugeon*, 349 – 3.5. *Valutazione della prova Lugeon*, 352 – 3.6. *Sommario dei punti principali*, 356.
- 359 **Capitolo IV**
Determinazione della conducibilità idraulica delle rocce sciolte
- 4.1. *Generalità*, 359 – 4.2. *Conducibilità idraulica e Isotropia*, 363 – 4.3. *Permeabilità ed Eterogeneità*, 364 – 4.4. *Sommario dei punti principali*, 369.
- 371 **Capitolo V**
Misura in sito del coefficiente di permeabilità delle rocce sciolte
- 5.1. *Generalità*, 371 – 5.2. *Prove in foro*, 371 – 5.2.1. *Generalità*, 371 – 5.2.2. *Prove a carico costante*, 374 – 5.2.3. *Prove a carico variabile*, 377 – 5.3. *Prove di pompaggio da pozzi con piezometri di controllo*, 377 – 5.3.1. *Generalità*, 377 – 5.3.2. *Prove in regime stazionario*, 381 – 5.3.3. *Prove in regime transitorio*, 384 – 5.4. *Prove da piezometri*, 387 – 5.5. *Permeometro autoperforante*, 390 – 5.6. *Micromulinello*, 391 – 5.7. *Permeometro di Boutwell*, 393 – 5.8. *Cella porosa*, 395 – 5.9. *Infiltrometri*, 396 – 5.10. *Punta piezometrica o piezocono*, 399.

409 **Capitolo VI***Valutazione del rischio di liquefazione per mezzo di prove CPT*

6.1. Generalità, 409 – 6.2. Identificazione dei terreni che possono subire liquefazione, 410 – 6.3. Determinazione del livello di vibrazione del terreno, 410.

Parte III**Misure in sito (tecniche di monitoraggio)**419 **Capitolo I***Approccio sistematico alla pianificazione del programma di monitoraggio*

1.1. Generalità, 419 – 1.2. Pianificazione, 419 – 1.2.1. Definizione delle condizioni di progetto, 420 – 1.2.2. Prevedere il meccanismo che controlla il comportamento, 420 – 1.2.3. Definizione delle domande che richiedono una risposta, 420 – 1.2.4. Definire gli scopi della strumentazione, 420 – 1.2.5. Scelta dei parametri da misurare, 421 – 1.2.6. Predire l'ampiezza della variazione, 421 – 1.2.7. Organizzare le azioni di intervento, 422 – 1.2.8. Individuazione delle figure per le operazioni e le fasi di progetto e costruzione, 423 – 1.2.9. Scelta degli strumenti, 424 – 1.2.10. Scelta della posizione degli strumenti, 425 – 1.2.11. Programmare il rilievo dei fattori che possono influenzare i valori misurati, 427 – 1.2.12. Stabilire le procedure per garantire la correttezza delle misure, 427 – 1.2.13. Preparare la lista della finalità di ciascuno strumento, 428 – 1.2.14. Preparare l'analisi dei costi, 428.

431 **Capitolo II***Incertezza delle misure*

2.1. Generalità, 431 – 2.2. Conformità, 431 – 2.3. Accuratezza, 431 – 2.4. Precisione, 432 – 2.5. Risoluzione, 433 – 2.6. Sensibilità, 433 – 2.7. Linearità, 433 – 2.8. Isteresi, 433 – 2.9. Rumore, 434 – 2.10. Errore, 435.

439 **Capitolo III***Misura della pressione neutra per terreni saturi*

3.1. Generalità, 439 – 3.2. Tempo di risposta di un piezometro in terreno indeformabile, 439 – 3.3. Tempo di risposta di un piezometro nel caso di terreno deformabile, 442 – 3.4. Apparecchi per la misura della pressione neutra, 444 – 3.4.1. Piezometri a circuito idraulico aperto, 445 – 3.4.2. Piezometri a circuito idraulico chiuso, 449 – 3.5. Piezometri multipunto, 450 – 3.5.1. Piezometri multipunto con sonda mobile, 451 – 3.5.2. Celle piezometriche, 454.

461 **Capitolo IV***Una nuova tecnica per l'installazione dei piezometri a diaframma*

4.1. Premessa, 461 – 4.2. Antefatto, 462 – 4.3. La malta cemento bentonite, 463 – 4.4. Norme per la progettazione della miscela, 466 – 4.5. Esempi di procedure di miscelazione, 467 – 4.6. Piezometri in fori completamente riempiti di malta cemento – bentonite, 468 – 4.6.1. Esperienze recenti, 468 – 4.6.2. Conducibilità idraulica della malta, 468 – 4.6.3. Piezometri a filo vibrante contro piezometri pneumatici, 469 – 4.6.4. la malta cemento – bentonite come filtro ad elevata pressione di ingresso dell'aria, 470 – 4.7. Piezometri multipli in foro, 471 – 4.7.1. Semplicità e costi ridotti, 471 – 4.7.2. Metodi di installazione, 472 – 4.8. Conclusioni, 472.

- 477 **Capitolo V**
Misura delle deformazioni
- 5.1. Generalità, 477 – 5.2. Misura degli spostamenti della superficie del terreno, 477 – 5.3. Materializzazione dei punti di misura, 478 – 5.4. Apparecchi e tecniche di misura degli spostamenti, 479 – 5.5. Strumenti ottici, 481 – 5.5.1. *Misura del dislivello per mezzo del livello ottico*, 481 – 5.6. Poligonazione, 483 – 5.6.1. *Intersezione in avanti*, 483 – 5.6.2. *Misura di allineamenti e livellazioni eseguite con il laser*, 484 – 5.7. Misura elettronica delle distanze, 485 – 5.8. Fessurimetri o estensimetri di superficie, 485 – 5.9. Fessurimetri meccanici, 486 – 5.10. Misura dei cedimenti, 488 – 5.11. Livellometri, 489 – 5.11.1. *Livellometro a punto singolo*, 489 – 5.11.2. *Livellometri a punti multipli*, 491 – 5.12. Assestimetri, 495 – 5.13. Tecniche di monitoraggio per la individuazione della superficie di scorrimento., 498 – 5.13.1. *Lo “Slope indicator”*, 499 – 5.13.2. *Le “Shear strips”*, 500 – 5.13.3. *Estensimetro per i pendii*, 503 – 5.13.4. *Pendolo invertito*, 504 – 5.14. Inclinometri, 504 – 5.14.1. *Fattori che possono alterare la precisione delle misure inclinometriche*, 509 – 5.15. Operazioni di campagna per la esecuzione di misure inclinometriche, 513 – 5.15.1. *Generalità*, 513 – 5.15.2. *Operazioni di campagna*, 514 – 5.15.3. *Calcolo delle coordinate della deformata*, 516 – 5.16. Sommario dei punti principali, 519.
- 521 **Capitolo VI**
Determinazione con prove in sito dei parametri dinamici
- 6.1. Generalità, 521 – 6.2. Tecniche per la determinazione in sito dei moduli, 521 – 6.3. Prove cross-hole, 522 – 6.4. Metodo dello “Up-Hole” e del “Down-Hole”, 525 – 6.4.1. *Prova Down-hole*, 525 – 6.4.2. *Procedura di prova*, 530 – 6.4.3. *Disposizione dello S.C.P.T. (Seismic Cone Penetration Test).*, 531 – 6.4.4. *Esecuzione della prova downhole*, 532 – 6.4.5. *Riproduzione dei dati ed interpretazione della prova*, 533 – 6.4.6. *Tabulazione dei dati.*, 536 – 6.5. Prove C.P.T., 539.
- 543 **Capitolo VII**
Misura della pressione neutra negativa
- 7.1. La pressione neutra negativa, 543 – 7.2. La tensione superficiale, 544 – 7.3. Problemi di cavitazione, 546 – 7.3.1. *Generalità*, 546 – 7.3.2. *Definizioni*, 547 – 7.3.3. *Inizio della cavitazione e presenza dei nuclei*, 547 – 7.3.4. *Fisica dell’acqua di porosità sotto tensione in un terreno non saturo*, 548 – 7.3.5. *Come evitare la cavitazione*, 549 – 7.4. Misura della suzione: metodi e applicazioni, 552 – 7.4.1. *Il modello capillare (equilibrio dell’interfaccia acqua – aria)*, 552 – 7.4.2. *Equilibrio della colonna d’acqua e l’altezza capillare*, 553 – 7.5. Apparecchi per la misura della suzione, 554 – 7.5.1. *Generalità*, 554 – 7.6. Metodi per la misura della suzione, 556 – 7.7. Psicrometri, 557 – 7.8. Tensiometri, 560.
- 571 **Bibliografia**

Prefazione alla seconda edizione

Questa seconda edizione de “L’indagine geotecnica di sito” conservando la sua originaria struttura cioè la suddivisione in tre parti è stata in parte modificata ed ampliata. La prima parte, infatti, a differenza della prima edizione è suddivisa in otto capitoli e non in sette, questo ottavo capitolo è dedicato alla diagrafia, cioè al rilievo dei dati di perforazione, con l’aggiunta di questo nuovo capitolo si è inteso completare questa prima parte dedicata alla programmazione delle indagini in situ, alle tecniche di perforazione e dei metodi di campionamento dei terreni siano essi sciolti o lapidei.

La seconda parte, dedicata alla determinazione delle caratteristiche meccaniche delle rocce sciolte e lapidee con prove in situ, è sempre suddivisa in sei capitoli. Tuttavia anche in questo caso è stata apportata una sostanziale modifica con l’ampliamento del capitolo primo nel quale è stata introdotta la Norma EN ISO 22476 – 2 dedicata alle prove DPT.

Nella parte terza dedicata alle tecniche di monitoraggio agli originari cinque capitoli ne sono stati aggiunti due nuovi, e cioè il quarto dedicato ad una nuova tecnica per l’installazione delle celle piezometriche a diaframma, e il settimo capitolo dedicato ad un’ampia trattazione dei problemi connessi con la misura della pressione neutra negativa. Con l’introduzione di questi nuovi capitoli e l’ampliamento dei precedenti si è resa necessaria un aggiornamento della bibliografia con l’introduzione di una nuova serie di riferimenti recentissimi.

Con questa nuova edizione si spera di aver fornito agli allievi dei corsi di studio in ingegneria e geologia un utile strumento per superare gli esami dei rispettivi corsi. Ci si augura che il testo risulti un utile manuale di consultazione anche per i professionisti che operano nel settore della geotecnica e della geologia applicata. A tal fine per rendere più agevole la consultazione alla fine di ciascun capitolo è riportato un sommario dei punti principali.

Questa nuova edizione vede la luce, purtroppo, in un periodo di grave crisi per l’Italia che la classe politica non pare essere capace di fronteggiare, in particolare non ci si rende conto che i giovani, che sono il nostro futuro e a cui è indirizzata questa opera, stanno andando via perché non trovano lavoro. Ci si augura che questo stato di cose migliori nell’immediato futuro.

Luigi Esposito

PARTE I

PROGRAMMAZIONE DELLE INDAGINI,
TECNICHE DI PERFORAZIONE
E CAMPIONAMENTO
IN ROCCE SCIOLTE E LAPIDEE

Esplorazione del sottosuolo

1.1. Premessa

La corretta progettazione di una qualsiasi opera richiede un'appropriate conoscenza delle condizioni del sottosuolo, questo è vero in particolare per la zona più direttamente interessata dalla costruzione dell'opera. Nel caso in cui si prevede l'utilizzo di materiali da costruzione come il terreno o i frammenti di roccia (rock-fill), è necessario conoscere le possibili condizioni del sito da cui si pensa di prendere il materiale. Le opere possono essere suddivise in tre grandi categorie:

- quelle per le quali i problemi derivano dalle interazioni tra l'opera stessa ed il terreno circostante. Queste includono: le fondazioni, le opere di sostegno, i rivestimenti delle gallerie ed i tubi interrati. Per queste opere è preminente la conoscenza dei carichi che provocano le deformazioni dell'interfaccia;
- quelle da realizzare in terra, come i rilevati stradali e le dighe di materiale sciolto o in "rock-fill", basi e fondazioni di pavimentazioni e di riempimenti eseguiti con diverse finalità. In questo caso è necessario conoscere le proprietà dei materiali da costruzione per determinare le azioni che l'opera stessa esercita sul terreno circostante;
- le opere in terra nel suo stato naturale come pendii o tagli di trincee. In questo caso si richiede la conoscenza del terreno nel suo stato naturale.

Per programmare e condurre un'indagine geotecnica che consenta la corretta progettazione di un'opera, è necessario ricorrere ad esperti dei terreni e delle rocce come gli Ingegneri geotecnici e/o i geologi.

Le informazioni sul sottosuolo necessarie includono, ma non sono limitate ad esse, le seguenti:

- estensione areale, profondità e potenza di ciascuno strato identificabile all'interno di uno spessore limitato dipendente dalle dimensioni e dalla natura dell'opera da realizzare, unitamente ad una descrizione dello stato di addensamento del terreno, se incoerente, e del suo grado di consistenza se coesivo;
- profondità della roccia e sue caratteristiche che includono la litologia, l'estensione areale, la profondità e spessore di ciascuno strato, direzione d'immersione e spaziatura dei giunti e piani di giacitura, la presenza di zone di faglia, lo stato d'alterazione o decomposizione;

- presenza della falda acquifera, possibile pressione artesianica e sua grandezza;
- determinazione in sito delle caratteristiche tecniche dei terreni e/o delle rocce come conducibilità idraulica, compressibilità e resistenza a taglio.

Le procedure per ottenere le informazioni sul sottosuolo si possono suddividere in due grandi categorie denominate come metodi indiretti e diretti.

I metodi indiretti includono il rilevamento geologico, l'interpretazione di foto aeree e di carte topografiche, l'uso di relazioni geologiche e geotecniche esistenti e relative alla zona d'interesse, il ricorso a carte geologiche e ad indagini già eseguite nel sito da caratterizzare.

I metodi diretti possono essere suddivisi nel modo seguente:

- riconoscimento in sito, ovvero l'esame diretto delle formazioni presenti in zone esposte naturalmente o a causa dell'uomo come le sponde dei fiumi, le scarpate, le trincee stradali o ferroviarie, le cave, i pozzi e le gallerie esistenti;
- esecuzione di sondaggi, scavi di prova, trincee, pozzi o cunicoli da cui sia possibile estrarre campioni rappresentativi sia disturbati sia indisturbati;
- esecuzione di prove in sito come S.P.T. e C.P.T. ed altre, i cui risultati siano correlabili, oltre che alla stratigrafia, con le caratteristiche fisiche e meccaniche dei materiali attraversati;
- esecuzione di prove in sito che permettano la misura diretta delle caratteristiche meccaniche delle formazioni presenti.

Lo scopo principale di questa prima parte è di dare delle informazioni, complete per quanto possibile, sull'esplorazione del sottosuolo, includendo la descrizione del progetto di un programma d'indagini, dei metodi diretti ed indiretti di esplorazione. La discussione sulle prove in sito è posposta e costituirà l'argomento della seconda parte.

1.2. Organizzazione di un programma d'indagini geognostiche

Lo scopo principale di un programma d'indagine è quello di fornire, agli addetti ai lavori, la migliore conoscenza possibile delle condizioni del sottosuolo di un sito prescelto per la costruzione di un'opera. Normalmente l'indagine geognostica deve fornire dati sufficienti per una progettazione sicura ed economica. In alcuni casi la caratterizzazione geognostica di un sito mira a individuare le cause di un crollo o di un dissesto (frane, cedimenti, ecc.).

Le indagini sono normalmente suddivise in fasi secondo il seguente schema:

- indagini per lo studio di fattibilità;
- indagini per il progetto di massima;
- indagini per il progetto esecutivo;
- indagini in fase di costruzione.