



RETE FERROVIARIA ITALIANA

MANUALE DI PROGETTAZIONE  
GEOLOGIA

Direzione Investimenti  
Ingegneria Civile

Codifica: RFI DINIC MA GE 00 001 B

FOGLIO  
1 di 162

MANUALE DI PROGETTAZIONE - GEOLOGIA

Parte	Titolo
PARTE I	Scopo Campo di applicazione Normativa di riferimento
PARTE II	Studi geologici, geomorfologici ed idrogeologici
PARTE III	Indagini geognostiche, prove in sito ed in laboratorio

A termine di legge RFI si riserva la proprietà di questo documento che non potrà essere copiato, riprodotto o comunicato ad altri senza esplicita autorizzazione.

Rev.	Data	Descrizione	Redatto	Verifica Tecnica	Autorizzazione
A	18/09/02	emissione per applicazione	A. Buonanno - F.M. Rossi	Alessandro Buonanno	Raffaele Mele
B	23/04/03	emissione per applicazione	A. Buonanno - F.M. Rossi	Alessandro Buonanno	Raffaele Mele



RETE FERROVIARIA ITALIANA

MANUALE DI PROGETTAZIONE  
GEOLOGIA

MANUALE DI PROGETTAZIONE

Codifica: RFI DINIC MA GE 00 001 B

FOGLIO  
2 di 162



## INDICE

MANUALE DI PROGETTAZIONE - GEOLOGIA .....	1
PARTE I .....	6
1. SCOPO .....	6
1.1. CAMPO DI APPLICAZIONE .....	6
1.2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	7
PARTE II .....	9
2. STUDI GEOLOGICI, GEOMORFOLOGICI ED IDROGEOLOGICI .....	9
2.1. PREMESSA .....	9
2.2. STUDI E RILEVAMENTI .....	10
2.2.1. Attività propedeutiche .....	10
2.2.2. Rilievi .....	11
Rilievo geologico .....	11
Rilievo geomorfologico .....	13
Rilievo idrogeologico .....	14
Rilievo geomeccanico/geotecnico .....	15
Rilievo dell'uso reale del territorio .....	16
Rilievo geopedologico .....	16
PARTE III .....	17
3. INDAGINI GEOGNOSTICHE, PROVE IN SITO ED IN LABORATORIO .....	17
3.1. GENERALITA' .....	17
3.2. GEOGNOSTICA .....	18
3.2.1. Perforazioni e sondaggi .....	18
Sondaggio geognostico a carotaggio continuo .....	18
Perforazione a distruzione di nucleo .....	30
3.2.2. Pozzi per acqua .....	34
Perforazione di pozzi .....	34
3.3. SCAVI ESPLORATIVI DI SUPERFICIE .....	40
3.3.1. Prelievo di campioni indisturbati da scavi esplorativi di superficie .....	40
3.3.2. Esame geologico-tecnico di terreni entro scavi esplorativi di superficie .....	42
3.4. GEOFISICA .....	43
3.4.1. Geoelettrica .....	43
Sondaggi elettrici verticali (SEV) .....	43
Prospezione geoelettrica per l'esecuzione di profili di resistività .....	44
Prospezione geoelettrica con metodologia tomografica .....	45
Carotaggio elettrico in foro .....	49
3.4.2. Gravimetria .....	50
Rilievo geofisico con metodo gravimetrico .....	50
3.4.3. Georadar .....	52
Rilievo elettromagnetico con metodo radar .....	52
3.4.4. Geosismica .....	54
Prospezione con metodo sismico a rifrazione .....	54
Prospezione con metodo sismico a riflessione .....	56
Prospezione con tecnica Down-Hole .....	58
Prospezione con tecnica Cross-Hole .....	60
Prospezione sismica tra fori di sondaggio con metodologia tomografica .....	63
Carotaggio sonico in foro di sondaggio .....	65
3.5. STRUMENTAZIONI E PROVE IN SITO .....	67
3.5.1. Apparecchiature in opera .....	67
Piezometro a tubo aperto .....	67
Piezometro con cella tipo Casagrande .....	69
Piezometro elettropneumatico .....	72
Tubo inclinometrico .....	75
Assestimetro elettromagnetico verticale a tubo corrugato .....	80
Assestimetro a piastra .....	82
Assestimetro orizzontale a cella idraulica .....	84
Estensimetro a cavo .....	85
Estensimetro a barra .....	86
Estensimetro incrementale .....	91
Estensimetro a corda vibrante .....	94
Fessuometri tridirezionali .....	96
Fessuometri monodirezionali .....	97
Stazioni di misura di convergenza .....	98
Celle di pressione .....	100
Martinetto piatto .....	100
3.5.2. Prove in sito continue .....	103

Prova con penetrometro statico di tipo olandese (CPT – CPTE).....	103
Prova con penetrometro statico con piezocono (CPTU).....	108
Prova con penetrometro dinamico tipo SCPT.....	112
Prova con dilatometro piatto tipo Marchetti.....	114
3.5.3. Prove in sito puntuali.....	117
Prova di densità in sito.....	117
Prova di carico su piastra per la determinazione del modulo di deformazione di un ammasso terroso.....	120
Prova di carico su piastra per la determinazione in sito della deformabilità di un ammasso roccioso.....	124
3.5.4. Prove in sito in foro di sondaggio.....	126
Prova penetrometrica dinamica tipo SPT.....	126
Prova pressiometrica Menard.....	128
Prova scissometrica in foro di sondaggio.....	131
Misura dello stato di sollecitazione mediante tecnica del sovraccarotaggio (prova Doorstopper).....	133
Prova di fratturazione idraulica in fori di sondaggio.....	135
Prova dilatometrica in roccia in fori di sondaggio.....	136
Prova di emungimento acqua all'interno di pozzi.....	137
Prova di permeabilità tipo Lefranc.....	140
Prova di assorbimento d'acqua tipo Lugeon.....	142
Misura di velocità di flusso idrico con micromulinello.....	145
Misura del contenuto in gas nocivi o esplosivi.....	148
3.6. PROVE DI LABORATORIO.....	150
3.6.1. Identificazione e determinazione delle caratteristiche fisico-chimiche delle terre.....	150
Apertura campione indisturbato di terra.....	150
Determinazione del contenuto naturale in acqua.....	150
Determinazione della massa volumica apparente.....	150
Determinazione del peso specifico dei granuli.....	150
Determinazione dei limiti di Atterberg.....	151
Determinazione del limite di ritiro.....	151
Analisi granulometrica meccanica eseguita mediante setacci.....	151
Analisi granulometrica per sedimentazione.....	151
Prova di permeabilità mediante permeametro a carico costante o variabile.....	151
Determinazione ponderale di solfati e cloruri.....	151
Determinazione del contenuto in carbonati mediante calcimetria.....	151
Determinazione del contenuto in sostanze organiche.....	152
Determinazione del pH con il metodo colorimetrico o con pHmetro.....	152
3.6.2. Determinazione delle caratteristiche fisiche, chimiche e petrografiche di rocce ed aggregati.....	153
Determinazione della massa volumica mediante pesata.....	153
Determinazione della massa volumica apparente di aggregati (massa in mucchio).....	153
Determinazione della massa volumica reale.....	153
Analisi granulometrica per vagliatura mediante setacci o crivelli.....	153
Determinazione del coefficiente di forma.....	153
Determinazione macroscopica dei caratteri litologici di una roccia.....	153
Analisi petrografica mediante determinazione microscopica su sezione sottile.....	153
Analisi diffrattometrica.....	154
Determinazione del coefficiente di imbibizione.....	155
Determinazione dell'equivalente in sabbia.....	155
Determinazione del contenuto di impurezze organiche.....	155
Determinazione del contenuto di solfati solubili di un aggregato.....	155
Determinazione del contenuto di cloruri solubili di un aggregato.....	155
Determinazione del modulo di finezza.....	155
Determinazione della migliore composizione granulometrica di una miscela inerte per conglomerati cementizi o bituminosi.....	155
Determinazione della resistenza alla degradazione mediante solfati.....	155
3.6.3. Determinazione delle caratteristiche meccaniche delle terre.....	156
Prove di compressione ad espansione laterale libera.....	156
Prova di taglio diretto con scatola di Casagrande.....	156
Prova di taglio con apparecchio anulare.....	156
Prova di taglio con scissometro da laboratorio (Vane Test).....	156
Prova di compressione triassiale.....	156
Prova di compressione edometrica.....	156
Determinazione della pressione di rigonfiamento in cella edometrica secondo il metodo Huder-Amberg.....	156
Determinazione del rigonfiamento lineare in cella edometrica.....	157
Prova di costipamento di una terra AASHTO Standard o modificata.....	157
Prova CBR.....	157
3.6.4. Determinazione delle caratteristiche meccaniche di rocce ed aggregati.....	158
Taglio di provini prismatici.....	158
Carotaggio di provini cilindrici.....	158
Spianatura e rettifica di provini cilindrici o prismatici di roccia.....	158
Prova di compressione monoassiale su provini cilindrici o prismatici.....	158
Determinazione della resistenza al gelo su provini di roccia.....	158



RETE FERROVIARIA ITALIANA

MANUALE DI PROGETTAZIONE  
GEOLOGIA

MANUALE DI PROGETTAZIONE

Codifica: RFI DINIC MA GE 00 001 B

FOGLIO  
5 di 162

Prova di compressione monoassiale su provini cilindrici o prismatici con rilievo della curva sforzi-deformazioni e del comportamento post-rottura del provino.....	158
Prova di creep monoassiale.....	158
Prova di resistenza a trazione "Brasiliana".....	158
Prova di compressione triassiale su provini di roccia.....	159
Prova di taglio su giunti di roccia secondo la metodologia ISRM.....	159
Prova con ultrasuoni per la determinazione delle costanti elastiche dinamiche.....	159
Prova di carico puntiforme "Point Load Strength Test".....	159
Determinazione dell'angolo di attrito di base di una roccia mediante "Tilt Test".....	159
Prova di durezza mediante martello di Schmidt (sclerometro).....	159
Prova di resistenza all'urto "Page".....	159
Determinazione del coefficiente di abrasione "Los Angeles".....	160
Determinazione della resistenza al gelo di un aggregato.....	160
Prova di durabilità "Slake Durability Test".....	160
Determinazione della resistenza all'usura per attrito radente.....	160
Determinazione della resistenza all'usura al getto di sabbia.....	160
3.6.5. Determinazione delle caratteristiche chimiche, fisiche e biologiche di acque naturali.....	161
Prelievo di un campione d'acqua da pozzi, piezometri, corsi d'acqua ecc.....	161
Determinazione della conducibilità e della temperatura.....	161
Determinazione del pH.....	161
Determinazione della durezza.....	161
Determinazione del contenuto in cloruri solubili.....	161
Determinazione del contenuto in solfati solubili.....	161
Determinazione del contenuto in solfuri solubili.....	161
Determinazione del contenuto in carbonati solubili.....	161
Determinazione del contenuto in bicarbonati solubili.....	161
Determinazione del contenuto in calcio solubile.....	162
Determinazione del contenuto in magnesio solubile.....	162
Determinazione del contenuto in sodio solubile.....	162
Determinazione del contenuto in potassio solubile.....	162
Determinazione del contenuto in nitrati solubili.....	162
Determinazione del contenuto in nitriti solubili.....	162
Determinazione del contenuto in CO <sub>2</sub> libera.....	162
Analisi batteriologica con determinazione di coliformi totali, coliformi fecali, streptococchi e salmonelle.....	162



## PARTE I

Il contenuto del presente Manuale di Progettazione, la descrizione delle tecniche e delle modalità operative delle indagini, degli studi, delle analisi e dei rilievi di carattere geologico, è stato elaborato attraverso un riesame della documentazione già emanata da RFI. In particolare è stato preso a riferimento il contenuto tecnico della Tariffa IG (ed. 1992) e delle successive integrazioni (Appendice 1997) che vengono anche richiamate nel paragrafo "Normativa di Riferimento".

### 1. SCOPO

Lo scopo del Manuale è quello di definire le procedure e le metodologie per l'effettuazione di rilevamenti e studi geologici, geomorfologici, idrogeologici nonché per l'esecuzione delle indagini geognostiche, delle prove in sito ed in laboratorio.

Per ciascuna delle attività descritte è sinteticamente riportata una parte generale riguardante la finalità dell'indagine, o della prova, o del tipo di rilievo da eseguire, le normative e/o raccomandazioni di riferimento, la descrizione delle caratteristiche delle attrezzature da utilizzare, le modalità operative e la documentazione da consegnare a RFI.

Per quanto concerne quelle indagini, rilievi e prove di particolare specializzazione non contenute nel presente Manuale, dovrà prevedersi di volta in volta una apposita documentazione da sottoporre all'approvazione di RFI.

Le innovazioni tecnologiche, migliorative, che potrebbero intervenire nel corso di validità del presente Manuale, relativamente alle attrezzature, alle modalità di esecuzione di indagini, rilievi, prove in sito e in laboratorio, dovranno essere approvate da RFI.

#### 1.1. CAMPO DI APPLICAZIONE

Il Manuale si adotta per i rilievi tematici, per le indagini geognostiche e per le prove in sito e di laboratorio che usualmente vengono effettuate per la progettazione di infrastrutture ed opere civili.

## 1.2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- Legge 4 agosto 1984 n. 464

Norme per agevolare l'acquisizione da parte del Servizio geologico della Direzione generale delle miniere del Ministero dell'industria, del commercio e dell'artigianato, di elementi di conoscenza relativi alla struttura geologica e geofisica del sottosuolo nazionale

- Decreto Ministero dei Lavori Pubblici 11 marzo 1988

Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione

- Circolare Ministero dei Lavori Pubblici 24 settembre 1988, n. 30483

Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Istruzioni per l'applicazione

- Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 27 dicembre 1988

Norme tecniche per la redazione degli studi di impatto ambientale e la formulazione del giudizio di compatibilità di cui all'art. 6 della legge 8 luglio 1986, n. 349, adottate ai sensi dell'art. 3 del decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 10 agosto 1988, n. 377.

- Circolare Ministero dei Lavori Pubblici 16 dicembre 1999 n. 349/STC D.P.R. n. 246 del 21/4/93, art. 8 comma 6

Concessione ai laboratori per lo svolgimento delle prove geotecniche sui terreni e sulle rocce ed il rilascio dei certificati ufficiali.

- International Subcommission on Stratigraphic Classification of IUGS International Commission on Stratigraphy, 1976

International Stratigraphic guide. A guide to stratigraphic classification, terminology, and procedure.

- Bollettino del Servizio Geologico d'Italia, Vol. LXXXIX – 1968

Codice italiano di nomenclatura stratigrafica

- Servizio Geologico Nazionale, 1993

Guida al rilevamento della carta geologica d'Italia in scala 1:50000

- Servizio Geologico Nazionale, 1994

Linee guida per il rilevamento della carta geomorfologica d'Italia in scala 1:50000

- Servizio Geologico Nazionale, 1995

Guida al rilevamento e alla rappresentazione della carta idrogeologica d'Italia in scala 1:50000

- ❑ Servizio Geologico Nazionale, 1995  
Guida alla rappresentazione cartografica della carta geologica d'Italia in scala 1:50000
- ❑ Associazione Geotecnica Italiana, 1977  
Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geognostiche
- ❑ Associazione Geotecnica Italiana, 1994  
Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio
- ❑ ISRM, 1975  
Recommendations on Site Investigation Techniques
- ❑ ISRM, 1977  
Suggested Methods for Petrographic Description of Rocks
- ❑ ISRM, 1978  
Suggested Methods for the Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses
- ❑ ISRM, 1981  
Basic Geotechnical Description of Rock Masses
- ❑ A.F.T.E.S., 1992  
Text of recommendations for a description of rock masses useful for examining the stability of underground works
- ❑ ANISIG, 2002  
Modalità tecnologiche per l'esecuzione di indagini geognostiche e l'installazione e la gestione di impianti di monitoraggio
- ❑ Ferrovie dello Stato, 1992  
Tariffa dei prezzi "IG" – 1° e 2° volume
- ❑ Ferrovie dello Stato, 1997  
Tariffa dei prezzi "IG" – Appendice 97 "AP97IG"





RETE FERROVIARIA ITALIANA

MANUALE DI PROGETTAZIONE  
GEOLOGIA

MANUALE DI PROGETTAZIONE

Codifica: RFI DINIC MA GE 00 001 B

FOGLIO  
9 di 162

## PARTE II

### 2. STUDI GEOLOGICI, GEOMORFOLOGICI ED IDROGEOLOGICI

#### 2.1. PREMESSA

Gli studi geologici, in senso lato, devono fornire una descrizione dell'ambiente fisico in cui si inserisce la nuova opera e definire sostanzialmente le proprietà litologico-stratigrafiche e geostrutturali degli ammassi rocciosi, le modalità di circolazione delle acque sotterranee ed i processi morfologici che hanno caratterizzato il territorio e quelli in atto.

Il quadro di insieme deve permettere al progettista di operare le scelte più idonee sia dal punto di vista ingegneristico, per una corretta funzionalità dell'opera, sia dal punto di vista ambientale, per minimizzare l'impatto della nuova opera nei confronti del territorio evidenziando l'assetto dell'ambiente fisico ante operam e post operam.

## 2.2. STUDI E RILEVAMENTI

L'ampiezza dell'area di studio deve essere riferita ad una fascia a cavallo dell'asse del tracciato ferroviario di ampiezza tale da includere tutti i fenomeni di tipo geologico, geomorfologico ed idrogeologico che possano avere un riflesso diretto o indiretto sulla progettazione, sulla costruzione e sull'esercizio della linea.

Le attività di studio e rilievo si dovranno in genere articolare secondo le seguenti fasi operative.

### 2.2.1. Attività propedeutiche

#### Ricerca bibliografica

L'attività dovrà consistere in un esame approfondito della cartografia geologica in senso lato disponibile presso Istituti universitari, di ricerca oppure Enti pubblici, corredata da una revisione critica della bibliografia aggiornata relativa all'area in esame.

Tale indagine sarà finalizzata quindi al reperimento dei dati e delle notizie riguardanti i caratteri lito-stratigrafici, tettonici, idrogeologici e geomorfologici e, ove disponibili, da dati di carattere geologico-tecnico.

A compimento dell'attività di ricerca dovrà essere fornito a RFI un elenco dettagliato dei materiali bibliografici consultati, con le indicazioni relative agli autori, alle riviste o ai testi e la data di pubblicazione.

#### Ricerca, raccolta, analisi e sintesi di studi ed indagini a carattere geologico, geomorfologico, idrogeologico, e geotecnico relativi a strutture già realizzate

Scopo dell'attività è quello di predisporre un rapporto tecnico nel quale siano raccolte tutte le informazioni di carattere geologico, geomorfologico, idrogeologico e geotecnico disponibili, derivanti da studi e indagini in sito e di laboratorio eseguite in una fase progettuale precedente a quella in corso.

In tale fase si dovranno reperire anche studi e ricerche a carattere ingegneristico svolti in precedenza per la progettazione e la realizzazione di opere ferroviarie e/o stradali nell'area in studio o in aree a caratteristiche geologiche simili a quelle per le quali si svolge l'attività di indagine in essere.

Nell'attività è in particolare compresa l'analisi, basata su misure e studi disponibili, del comportamento delle strutture esistenti alla luce dei dati di carattere geologico, idrogeologico e geotecnico.

#### Analisi fotointerpretativa

Lo studio fotointerpretativo deve essere di supporto ai rilievi di campagna e consentire quindi un affinamento del lavoro da svolgere.

Tale attività deve portare all'acquisizione delle seguenti informazioni:

- ☞ inquadramento tettonico regionale dell'area in esame con individuazione dei principali elementi tettonici e stratigrafici;
- ☞ definizione delle eventuali fasce cataclastiche o milonitiche associate alle lineazioni principali;
- ☞ caratterizzazione qualitativa dello stato di fratturazione dell'ammasso roccioso;
- ☞ definizione preliminare dei limiti tra le varie litologie affioranti;
- ☞ caratterizzazione delle rocce in base all'alterazione e al grado di umidità;
- ☞ definizione preliminare delle caratteristiche idrologiche superficiali dell'area;
- ☞ definizione degli elementi geomorfologici e delle condizioni di stabilità dei versanti.

L'analisi fotointerpretativa deve essere effettuata utilizzando foto aeree di recente esecuzione e di buona qualità nelle quali deve essere indicata la data del volo e la scala del rilievo.

Di norma deve inoltre essere effettuato un confronto tra foto aeree eseguite in periodi diversi al fine di evidenziare l'evoluzione dei processi geomorfici in atto e di riconoscere l'eventuale riattivazione di quelli esauriti precedentemente.

I dati desunti dall'analisi fotointerpretativa possono essere riportati in uno specifico elaborato cartografico (alla scala da definirsi in funzione delle esigenze progettuali) oppure nelle singole note illustrative specialistiche riguardanti i rilievi tematici.

### 2.2.2. Rilievi

La cartografia di base necessaria per i rilievi tematici dovrà avere una scala maggiore o uguale a quella prevista per i rilievi stessi.

#### Rilievo geologico

Il rilievo geologico deve essere originale e basato sulla cartografia disponibile. Tale rilevamento deve consentire l'acquisizione delle seguenti informazioni:

- ☞ riconoscimento e distribuzione delle unità litostratigrafiche affioranti distinte secondo l'ordine gerarchico (supergruppo, gruppo, subgruppo, formazione, membro, strato);
- ☞ assetto tettonico dell'area (pieghe, sovrascorrimenti, faglie) e rilievo degli elementi stratimetrici fondamentali (giacitura degli strati, delle superfici di scistosità, delle superfici di clivaggio);
- ☞ discontinuità minori (faglie secondarie, fratture, fasce milonitiche o cataclastiche di ridotta estensione);
- ☞ raccolta sistematica di campioni di roccia e terreno rappresentativi per la caratterizzazione mineralogico-petrografica e geocronologica.

La descrizione delle unità litostratigrafiche, utilizzabile per rocce sedimentarie ed adattabile a formazioni composte da altri tipi di rocce, deve comprendere:

- nome della formazione;
- stratotipo;
- affioramenti tipici nell'area in esame;
- caratteri litologici, strutture interne degli strati, spessore e geometria degli strati, strutture direzionali; superfici di discontinuità e trasgressione, dati di laboratorio;
- spessore della formazione e sue variazioni;
- rapporto con formazioni sotto e sovrastanti e laterali;
- fossili;
- ambiente di deposizione;
- età.

Le unità litostratigrafiche dovranno essere caratterizzate da un punto di vista litologico-tecnico secondo la classificazione in uso presso RFI in base alla quale le rocce sono suddivise nelle seguenti classi:

CLASSIFICAZIONE LITOLOGICO-TECNICA	
Rocce rigide ( R )	Massicce ( R1 ) Stratificate ( R2 ) Marcatamente fissili ( R3 )
Complessi a comportamento composito ( S )	Rocce semicoerenti ( Ss ) Alternanze di litotipi a differente comportamento meccanico ( St ) Complessi strutturalmente caotici ( Sc )
Terreni a comportamento granulare ( G )	Depositi marini ( Gp ) Depositi alluvionali ( Ga ) Depositi morenici ( Gm ) Depositi eterogenei di varia origine ( Gv )
Terreni a comportamento plastico ( P )	
Terreni organici ( T )	

L'elaborato cartografico geologico deve contenere le informazioni ricavate dal rilevamento originale di campagna, integrate dalla ricerca bibliografica preliminare e dallo studio fotointerpretativo e deve contenere tutte le informazioni relative alle unità litostratigrafiche riconosciute ed all'assetto tettonico generale.

Nel documento deve essere illustrato lo schema dei rapporti stratigrafici tra le varie unità cartografate in relazione all'interferenza con la nuova opera evidenziando i dati relativi alle giaciture della stratificazione o della scistosità, all'orientamento degli assi e dei piani assiali delle strutture plicative e di quelle rigide (sovrascorrimenti, faglie, fratture). Deve inoltre essere evidenziata l'eventuale presenza di fasce milonitiche o cataclastiche.

Le sezioni geologiche interpretative devono evidenziare l'assetto litostratigrafico-strutturale della zona in esame sia in direzione longitudinale che in direzione trasversale rispetto all'asse del tracciato ferroviario.

La relazione geologica deve inoltre essere redatta in forma semplice e chiara con la descrizione dell'insieme degli studi eseguiti e dei risultati emersi dagli studi stessi evidenziando il quadro stratigrafico-strutturale regionale, gli aspetti tettonici e la caratterizzazione litostratigrafica delle formazioni cartografate nell'area.

La relazione geologica dovrà soprattutto evidenziare le eventuali problematiche tecniche connesse all'interazione tra ambiente fisico e opera ferroviaria. A tale scopo il capitolo finale della relazione deve essere articolato in modo da descrivere congiuntamente i risultati degli studi tematici di superficie e quelli delle indagini in sito (di tipo diretto ed indiretto) ed in laboratorio in base ai quali dovrà essere proposto un modello di caratterizzazione in sito degli ammassi rocciosi dal punto di vista geolitologico, idrogeologico e geotecnico/geomeccanico.

#### A. Documentazione

A completamento degli studi dovranno essere consegnati a RFI i seguenti documenti i cui contenuti dovranno esplicitare quanto sopra descritto:

- a) RELAZIONE GEOLOGICA;
- b) CARTA GEOLOGICA con caratterizzazione litologico-stratigrafica degli ammassi affioranti e con elementi di tettonica;
- c) SEZIONI GEOLOGICHE le cui tracce dovranno essere concordate con RFI;
- d) SINTESI della ricerca bibliografica.

### Rilievo geomorfologico

Il rilievo geomorfologico deve essere originale e basato sulla cartografia disponibile.

Tale rilevamento deve rappresentare, in base allo studio svolto sul territorio, le forme del rilievo terrestre raffigurando i caratteri morfografici e morfometrici. Ne deve interpretare altresì l'origine in funzione dei processi geomorfici (endogeni ed esogeni), passati e presenti, che le hanno generate e ne individua la sequenza cronologica, con particolare distinzione fra forme attive e quelle non attive.

Le informazioni così assunte devono delineare un quadro completo delle caratteristiche geomorfologiche del territorio studiato ed offrire le basi per prevederne l'evoluzione futura.

In particolare il rilievo deve portare all'acquisizione e mappatura, con opportuna simbologia, delle seguenti principali informazioni di pertinenza geomorfologica:

- ☞ situazioni di dissesto idrogeologico quali frane, aree in erosione accelerata, aree soggette a caduta massi, aree di esondazione ecc.;
- ☞ elementi relativi alla rete idrografica;
- ☞ assetto morfometrico relativo alla esposizione dei versanti, alle dimensioni dei morfotipi cartografati ecc.;
- ☞ caratteristiche delle aree prevalentemente sottoposte a processi di erosione oppure quelle dominate da processi di deposizione;
- ☞ elementi di natura tettonica selezionati, in base a criteri geomorfologici, considerando la loro incidenza sulle forme del rilievo;
- ☞ forme in evoluzione per processi attivi o riattivabili;
- ☞ caratteristiche dei depositi connessi alla degradazione meteorica delle rocce affioranti differenziati sia su base litologica che su base genetica;
- ☞ forme non più in evoluzione e non più riattivabili, nelle condizioni morfoclimatiche attuali, sotto l'azione dello stesso processo morfogenetico principale.

In particolare devono essere evidenziate quelle forme del territorio, suddivise in base alla loro genesi, i cui processi morfogenetici siano distinti in base al loro grado di dinamismo (velocità di evoluzione).

Con simboli, retinature e colori, devono essere rappresentati sull'elaborato cartografico di sintesi tutto quanto espressamente summenzionato con particolare riferimento all'identificazione di quelle situazioni di dissesto idrogeologico in atto capaci di condizionare la funzionalità e la stabilità delle opere previste.

I risultati dello studio e dei rilievi svolti devono essere descritti in una relazione illustrativa che conterrà almeno i seguenti capitoli:

- a) Assetto orografico
- b) Reticolo idrografico
- c) Condizioni climatiche
- d) Aspetti morfologici e morfometrici
- e) Dati litologici e tettonici
- f) Quadro morfogenetico
- g) Quadro morfoevolutivo
- h) Bibliografia consultata

#### A. Documentazione

A completamento degli studi dovranno essere consegnati a RFI i seguenti documenti i cui contenuti do-

vanno esplicitare quanto sopra descritto:

- a) RELAZIONE GEOMORFOLOGICA;
- b) CARTA GEOMORFOLOGICA.

### **Rilievo idrogeologico**

Nello studio idrogeologico devono essere presi in considerazione tutti quegli elementi emersi dai rilievi geologico e geomorfologico che possono fornire utili informazioni a definire il modello di circolazione sotterranea.

In particolare devono essere considerati i seguenti principali elementi:

- ☞ caratteristiche di permeabilità delle diverse unità litostratigrafiche presenti nell'area in esame;
- ☞ caratteristiche della rete idrografica superficiale (andamento dei corsi d'acqua, regime, alveo ecc.) secondo quanto emerso nello studio geomorfologico;
- ☞ delimitazione del bacino idrografico principale e dei vari sottobacini;
- ☞ individuazione dei punti d'acqua emergenti e no (sorgenti, emergenza di falda, pozzi ecc);
- ☞ linee isopiezometriche distinte eventualmente tra falda superficiale e falda profonda;
- ☞ possibile deflusso sotterraneo (es. contatti tettonici, limiti tra formazioni a diverso grado di permeabilità ecc.) in base ai dati raccolti di carattere litostratigrafico ed all'assetto geotettonico.

Il rilievo idrogeologico di campagna deve essere originale e deve comprendere anche la fase di:

- ☞ ubicazione e classificazione delle sorgenti presenti (perenni o temporanee, portata media misurata in intervalli di tempo regolari, caratteristiche chimico-fisiche delle acque ecc.), dei pozzi nonché dei punti di emergenza naturale o artificiale della falda acquifera.

I risultati dello studio e dei rilievi svolti devono essere descritti in una relazione illustrativa che conterrà almeno i seguenti capitoli:

- a) Idrologia di superficie
- b) Idrologia sotterranea (emergenza di acque sotterranee, caratteristiche degli acquiferi, caratteristiche idrodinamiche, caratteristiche idrochimiche)
- c) Complessi idrogeologici distinti in funzione del loro grado di permeabilità relativa
- d) Opere artificiali
- e) Aree carsiche
- f) Bibliografia consultata

### A. Documentazione

A completamento degli studi dovranno essere consegnati a RFI i seguenti documenti i cui contenuti dovranno esplicitare quanto sopra descritto:

- a) RELAZIONE IDROGEOLOGICA;
- b) CARTA IDROGEOLOGICA;
- c) SCHEDE DEI PUNTI D'ACQUA.

### Rilievo geomeccanico/geotecnico

Il rilievo si basa sulla classificazione litologico tecnica delle unità litostratigrafiche e ne implementa la suddivisione in termini geotecnici/geomeccanici attraverso l'attribuzione di indici di qualità degli ammassi rocciosi e dei terreni sciolti.

In *presenza di ammassi rocciosi* l'assegnazione di indici di qualità si basa sull'esecuzione in campagna di rilievi geostrutturali a scala mesoscopica che permettano di individuare facies litostratigrafiche omogenee in termini geomeccanici.

I rilievi geostrutturali mesoscopici devono pertanto descrivere l'ammasso in termini di:

- ☞ litologia;
- ☞ resistenza a compressione;
- ☞ stato di fratturazione e natura delle discontinuità (numero di famiglie, giacitura, spaziatura, persistenza, apertura, rugosità, resistenza, grado di alterazione, presenza di riempimento ecc...);
- ☞ condizioni idriche.

I dati rilevati in campagna devono essere esaustivi ed utili per potere descrivere gli ammassi in termini di classificazioni geomeccaniche normalmente in uso (classificazione di Bieniawski, di Hoek, di Barton) in base alle quali potranno essere attribuiti gli indici di qualità caratteristici delle unità litotecniche individuate.

Per ciascuna stazione di misura devono essere presentati i seguenti elaborati:

- ☞ tabelle riassuntive riportanti l'ubicazione della stazione e i risultati delle misurazioni effettuate;
- ☞ proiezioni stereografiche su reticolo equiareale di Schmidt dell'orientazione delle discontinuità rilevate;
- ☞ indici di qualità degli ammassi rocciosi secondo le classificazioni geomeccaniche concordate con RFI.

In *presenza di terreni sciolti* la caratterizzazione geotecnica dell'orizzonte superficiale dovrà essere eseguita ricorrendo al prelievo di campioni superficiali di terreno (al di sotto dello strato di terreno vegetale) sui quali dovranno essere effettuate le prove geotecniche di caratterizzazione fisica (granulometria, limiti di Atterberg) che permetteranno di suddividere l'area in studio in base alla classificazione USCS (Unified Soils Classifications System).

Per ciascuna stazione di misura devono essere presentati i seguenti elaborati:

- ☞ tabelle riassuntive riportanti l'ubicazione della stazione e descrizione del materiale prelevato;
- ☞ risultati delle prove geotecniche di laboratorio;
- ☞ classificazione USCS dei terreni.

### A. Documentazione

A completamento degli studi dovranno essere consegnati a RFI i seguenti documenti i cui contenuti dovranno esplicitare quanto sopra descritto:

- a) RELAZIONE LITOLOGICO-TECNICA;
- b) CARTA LITOLOGICO-TECNICA ad indirizzo geotecnico-geomeccanico;
- c) SCHEDE DEI PUNTI DI MISURA.

### Rilievo dell'uso reale del territorio

Gli studi e i rilevamenti saranno eseguiti sulla base di cartografia esistente, rilievi diretti in sito e anche con l'ausilio di fotografie aeree, in bianco e nero o a colori o all'infrarosso.

Essi però dovranno avere, in ogni caso, un notevole contenuto di rilevamento diretto in relazione alla peculiarità del tema ed in relazione alla scala di rappresentazione.

L'elaborato conclusivo cartografico dovrà suddividere le aree in funzione della loro reale utilizzazione; si dovranno pertanto evidenziare le zone urbanizzate e/o industrializzate, le zone destinate a coltivazione (suddivise per tipologia), le zone boschive (suddivise per tipologia) e le aree protette.

In particolare per le zone antropizzate dovranno essere evidenziate tutte le modificazioni dell'assetto del territorio quali aperture di scavi o cave, canalizzazioni o sbarramenti, deviazioni di acque superficiali, pavimentazioni di superfici ed estese impermeabilizzazioni ecc..

Le ulteriori suddivisioni di dettaglio delle zone sopraevidenziate dovranno essere concordate con RFI sulla base della specificità dell'area in esame ed in funzione della finalità applicativa del rilievo.

Nella relazione conclusiva e nella cartografia dovranno essere anche evidenziate e delimitate le aree soggette a vincoli descrivendone la natura (idrogeologico, paesaggistico, urbanistico...).

#### A. Documentazione

A completamento degli studi dovranno essere consegnati a RFI i seguenti documenti i cui contenuti dovranno esplicitare quanto sopra descritto:

- a) RELAZIONE DESCRITTIVA;
- b) CARTA DELL'USO REALE DEL TERRITORIO.

### Rilievo geopedologico

Gli studi e i rilevamenti saranno eseguiti sulla base di cartografia esistente e di rilievi diretti in sito.

Il rilievo geopedologico ha lo scopo di definire i vari tipi di suolo originatisi per alterazione del substrato litologico sotto l'azione di fattori biologici, fisici e chimici.

I tipi di suolo dovranno essere descritti in base ai processi di formazione che li hanno costituiti (disgregazione e alterazione del substrato roccioso, accumulo di sostanza organica, lisciviazione, eluviazione ecc...) e sulla base delle loro proprietà ( tessitura, colore, struttura, attività biologica, capacità di scambio cationica ecc...).

Per la descrizione dei suoli si farà riferimento alle principali classificazioni in uso a livello internazionale quali la classificazione francese, la classificazione statunitense (Soil taxonomy), le classificazioni FAO e FAO-UNESCO; la scelta del sistema classificativo dovrà essere preventivamente concordato con RFI.

#### A. Documentazione

A completamento degli studi dovranno essere consegnati a RFI i seguenti documenti i cui contenuti dovranno esplicitare quanto sopra descritto:

- a) RELAZIONE DESCRITTIVA;
- b) CARTA GEOPEDOLOGICA.



## **PARTE III**

### **3. INDAGINI GEOGNOSTICHE, PROVE IN SITO ED IN LABORATORIO**

#### **3.1. GENERALITA'**

Le prestazioni geognostiche in sito ed in laboratorio dovranno essere realizzate dall'Affidatario secondo il contenuto tecnico, le modalità operative e le attrezzature di seguito descritte e secondo un programma esecutivo in cui saranno definiti, per ciascun tipo di indagine prevista, le quantità e l'ubicazione delle prove.

Le presenti Prescrizioni Tecniche recepiscono sia le vigenti disposizioni legislative sia le raccomandazioni e prescrizioni dei maggiori Enti pubblici e privati che trattano la materia delle indagini in sito ed in laboratorio.

La responsabilità dell'esecuzione di una campagna di indagini, l'acquisizione e l'interpretazione dei dati geognostici, geofisici e delle prove in sito nonché la relazione finale dovranno essere affidate ad un Geologo abilitato all'esercizio della professione con almeno due anni di esperienza nel campo specifico delle indagini e delle prove in sito, che dovrà assicurare la presenza a tempo pieno in cantiere.

Analogamente la responsabilità della conduzione delle prove geotecniche di laboratorio e la relativa certificazione dovrà essere curata da uno specialista del settore (Geologo o Ingegnere Geotecnico) con almeno due anni di esperienza nel campo specifico delle prove geotecniche/geomeccaniche di laboratorio.

Gli obblighi e gli oneri dell'Affidatario nell'esecuzione delle singole indagini e prove sono ampiamente descritti nelle avvertenze delle voci di tariffa con cui vengono contabilizzati i lavori eseguiti.

Qualora l'Affidatario sia in Assicurazione di qualità prima dell'inizio dei lavori dovrà presentare il Piano Qualità; in tutti gli altri casi dovrà essere presentato un Piano Operativo indicando le attrezzature che dovranno essere utilizzate per lo sviluppo dei lavori, lo sviluppo temporale delle indagini, i nomi degli operatori ed il responsabile del cantiere e le esperienze acquisite.

L'Affidatario in Assicurazione di Qualità, ai sensi della normativa UNI EN ISO 9002, dovrà essere certificato da un organismo internazionale esterno ed autonomo, riconosciuto in Italia dal SINCERT.

## 3.2. GEOGNOSTICA

### 3.2.1. Perforazioni e sondaggi

#### Sondaggio geognostico a carotaggio continuo

##### Generalità

La perforazione a carotaggio continuo si esegue quando, per il riconoscimento del terreno, devono essere prelevati, senza soluzione di continuità, campioni rappresentativi della granulometria e deve essere rilevata la completa stratigrafia dei terreni attraversati nonché la presenza e la natura delle discontinuità.

L'esecuzione di sondaggi a carotaggio continuo permetterà quindi:

- la descrizione stratigrafica in chiave geotecnica e/o geomeccanica;
- il prelievo di campioni indisturbati di terreno;
- l'esecuzione in foro di prove geotecniche, geomeccaniche e idrogeologiche;
- l'attrezzatura del foro per prove di controllo e di monitoraggio;
- il rilievo delle condizioni idrogeologiche del sottosuolo.

Normative e raccomandazioni di riferimento:

- Associazione geotecnica italiana (1977) - "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche".
- ASTM D4220-95 (2000) – "Standard Practices for Preserving and Transporting Soil Samples".
- ASTM D5079-90 (1996) – "Standard Practices for Preserving and Transporting Rock Core Samples".
- ASTM D6032-96 – "Standard Test Method for Determining Rock Quality Designation (RQD) of Rock Core".

##### A. Attrezzatura

###### A.1. Sonda di perforazione

Le attrezzature da impiegare per la perforazione devono essere del tipo a rotazione o rotopercussione tali da permettere l'esecuzione di quanto descritto ai successivi punti.

Le attrezzature a rotazione devono avere caratteristiche idonee all'esecuzione del programma di indagini con i requisiti minimi sottoelencati:

- Velocità di rotazione	0 ÷ 500	rpm
- Coppia massima	≥ 600	kgm
- Corsa continua	≥ 150	cm
- Spinta	≥ 4000	kg
- Tiro	≥ 4000	kg

- |  |          |                 |
|--|----------|-----------------|
| - Pompa per fluidi di perforazione                       | 30÷60    | bar (pressione) |
|  | 90÷200   | litri (portata) |
| - Pompa ad alta pressione (100 bar) per il campionamento | presente |                 |
| - Argano a fune  | presente |                 |

La pompa dovrà avere un circuito supplementare per il rabbocco del fluido a testa foro.

Nel caso di impiego di fanghi di circolazione dovrà essere disponibile l'impianto per la preparazione ed il recupero degli stessi.

Tutte le attrezzature operanti dovranno essere dotate di idoneo manometro avente lo scopo di controllare rapidamente che non vi siano sovrappressioni del fluido di perforazione sia durante la perforazione sia durante il prelievo di campioni indisturbati.

Il corredo della sonda deve essere completo di tutti gli accessori necessari per l'esecuzione del lavoro a norma di specifica e degli utensili per la riparazione dei guasti di ordinaria entità.

RFI si riserva di autorizzare l'impiego di attrezzature con requisiti diversi da quelli sopraelencati.

#### A.2. Utensili di perforazione

Dovranno essere disponibili in cantiere:

- carotiere semplice, con valvola di testa a sfera e calice per perforazione a secco:
  - diametro nominale :  $\varnothing_{est} = 101\div 146$  mm
  - lunghezza utile :  $L = 150\div 300$  cm
- carotiere doppio a corona sottile (T2, T6) con estrattore per perforazione con fluido:
  - diametro nominale :  $\varnothing_{est} \geq 101$  mm
  - lunghezza utile :  $L = 150\div 300$  cm
- carotiere triplo con porta campione interno estraibile ed apribile longitudinalmente (T6S), con estrattore per perforazione con fluido:
  - diametro nominale :  $\varnothing_{est} \geq 101$  mm
  - lunghezza utile :  $L = 150$  cm
- corone di perforazione in widia e diamantate;
- aste di perforazione con filettatura troncoconica:
  - diametro esterno :  $\varnothing_{est} = 67\div 76$  mm
  - lunghezza utile :  $L = 150$  cm

Nel caso di avanzamento con metodologia wire-line dovranno essere disponibili carotieri doppi (PQ, HQ) e/o tripli (PQ3, HQ3).

#### A.3. Utensili di pulizia fondo foro

Dovranno essere disponibili in cantiere:

- carotiere semplice  $L = 40 \div 80$  cm;
- attrezzo a fori radiali, da impiegarsi con circolazione di fluido uscente dall'utensile con inclinazione

di 45° ÷ 90° rispetto alla verticale;

- campionatore a pareti grosse  $\varnothing = 100$  mm, con cestello di ritenuta alla base, per l'asportazione di eventuali ciottoli.

#### A.4. Rivestimento provvisorio

Nel caso di utilizzo di rivestimenti associati alla perforazione ad aste, essi saranno in acciaio, con le seguenti caratteristiche:

- spessore tubo :  $s = 8\div 10$  mm
- diametro esterno :  $\varnothing_{est} = 127\div 152$  mm
- lunghezza spezzoni :  $L = 50\div 200$  cm

La tubazione di rivestimento provvisorio deve avere un diametro adeguato al diametro dell'utensile di perforazione e deve essere infissa dopo ogni manovra fino alla quota raggiunta dalla perforazione stessa.

#### A.5. Strumenti di controllo e prova

Devono fare parte del corredo della sonda i seguenti strumenti:

- scandaglio a filo graduato per la misurazione della quota effettiva di fondo foro;
- sonda piezometrica elettrica;
- penetrometro tascabile (fondo scala 0,5 e 1 MPa) e scissometro tascabile (fondo scala 100 e 240 kPa);
- sclerometro da roccia tipo L (martello di Schmidt) per la misura della resistenza;
- profilografo a pettine (pettine di Barton) per il rilievo dei profili di rugosità dei giunti;
- calibro e spessimetro a lamelle per la misura dell'apertura dei giunti;
- HCl diluito al 5% per la classificazione di rocce carbonatiche.

### B. Modalità esecutive

#### B.1. Installazione dell'attrezzatura di perforazione

L'installazione della postazione di sondaggio e di tutte le attrezzature necessarie deve essere effettuata in modo da consentire agli operatori accesso e permanenza agevoli nell'area di lavoro, compatibilmente con l'accessibilità generale dell'area di lavoro.

Se richiesto dalle condizioni ambientali, l'Affidatario dovrà preventivamente eseguire, nell'area interessata, la regolarizzazione del piano di campagna mediante asportazione o riporto di terra o materiale arido ed ogni opera provvisoria atta ad impedire ristagni d'acqua.

L'attrezzatura di perforazione dovrà essere posizionata sulla verticale da indagare in modo che l'inclinazione ed eventualmente la direzione del foro non cambino in seguito a spostamenti accidentali dell'attrezzatura stessa.

Prima di iniziare la perforazione occorre orientare la guida di scorrimento della testa di rotazione della sonda secondo l'inclinazione e la direzione desiderata.

In presenza di sondaggi verticali, l'inclinazione dovrà essere controllata normalmente con una livella a bolla di lunghezza non inferiore a 50 cm oppure con un filo a piombo.

In presenza di sondaggi inclinati, l'inclinazione dovrà essere fissata mediante un goniometro controllato tramite calcoli trigonometrici.

### B.2. Perforazione a carotaggio continuo

Il sistema e le modalità di perforazione con carotaggio devono essere tali da rendere minimo il disturbo provocato nei terreni attraversati e tali da consentire il campionamento del terreno mediante prelievi di campioni dall'utensile di perforazione. La perforazione, inoltre, deve consentire il prelievo di campioni indisturbati nonché l'esecuzione di prove geotecniche, geomeccaniche ed idrogeologiche.

Il carotaggio dovrà essere integrale e rappresentativo dei terreni attraversati con una percentuale di recupero minima non inferiore al 90%.

In linea generale ed in relazione alle caratteristiche dei terreni la perforazione dovrà essere eseguita secondo le seguenti linee guida:

- 1) nei terreni litoidi: a rotazione con corona a widia o a diamanti ed impiego di carotiere semplice, doppio o triplo;
- 2) nei terreni coesivi: a rotazione con impiego di carotiere semplice senza fluido di circolazione oppure con impiego di carotiere doppio/triplo con debole circolazione di fluido;
- 3) nei terreni granulari: a rotazione con impiego di triplo carotiere o con carotiere semplice senza fluido di circolazione (a secco).

I carotieri saranno azionati ad aste; è ammesso, in alternativa, l'uso di sistemi "wire-line" purché si ottenga la percentuale di carotaggio richiesta e non si producano dilavamenti e/o rammollimenti del materiale, a giudizio di RFI.

Qualora richiesto da RFI, l'Affidatario desisterà dall'uso del sistema wire-line per proseguire con il tradizionale sistema ad aste.

#### B.2.1. Perforazione a carotaggio continuo nei terreni sciolti

La perforazione a carotaggio continuo sarà di norma eseguita mediante carotiere semplice.

Il carotiere semplice è un tubo di acciaio la cui estremità inferiore è costituita da una corona provvista generalmente di inserti di widia. All'estremità superiore deve essere posizionata una valvola di non ritorno a sfera che impedisca all'acqua presente nelle aste di perforazione di venire a contatto con la carota riducendone così il disturbo e la possibilità che la carota stessa fuoriesca dal carotiere.

Nei terreni sciolti (argilla, limo, sabbia ghiaia, ciottoli) l'avanzamento del carotiere dovrà avvenire sempre a secco senza impiego di fluidi di perforazione per impedire il dilavamento delle frazioni fini.

Nei terreni sabbiosi e/o ghiaiosi per evitare l'essiccamento del materiale e la formazione dei cosiddetti "tappi" (materiale "bruciato") si dovrà regolare la velocità di rotazione su valori bassi e incrementare la pressione di spinta oppure avanzare per mezzo della sola pressione di spinta, senza rotazione, mediante piccoli movimenti in su e giù della batteria di aste collegate alla testa di rotazione o all'organo di sollevamento.

In presenza di terreni estremamente molli sarà necessario posizionare in prossimità della corona un portaestrattore con estrattore a cestello per impedire al materiale di sfilarsi.

Al termine della manovra di carotaggio il carotiere dovrà essere estratto molto lentamente mantenendo il battente d'acqua il più elevato possibile con continui rabbocchi, al fine di evitare che la carota si sfili per effetto pistone.

Nei materiali granulari per evitare che la carota si sfili, sarà necessario eseguire il "tappo" negli ultimi 10-20 cm di carotaggio essiccando il materiale in modo che si attacchi alle pareti del carotiere; questa operazione sarà eseguita mediante rotazione e spinta sull'utensile.

Per le operazioni di scarotatura (estrazione della carota) dovrà essere utilizzato un estrusore idraulico oppure una scarotatrice dotata di un regolatore della pressione di estrusione e di un tampone a tenuta che impedisca il contatto della carota con il fluido di spinta.

Prima di ogni manovra di campionamento o di prova geotecnica in foro dovrà essere misurata con precisione la profondità del foro utilizzando uno scandaglio a filo graduato. Qualora vi sia differenza tra la quota

raggiunta con la perforazione e la quota misurata si deve procedere alla pulizia del foro con apposita manovra.

La pompa utilizzata per la circolazione dei fanghi dovrà avere una potenza atta a sviluppare una adeguata velocità di fuoriuscita dei fanghi stessi dal foro onde impedire la decantazione dei detriti nel foro di sondaggio.

### *B.2.2. Perforazione a carotaggio continuo nei materiali lapidei*

Nei materiali litoidi la perforazione a carotaggio continuo può essere eseguita con il metodo ad aste e doppio carotiere oppure con il metodo wire line.

Di norma il sistema ad aste viene adottato fino a profondità di indagine pari a 80 m, mentre il sistema wire line è preferito per profondità superiori a 80 m.

Il doppio carotiere è costituito da due tubi di acciaio coassiali; quello interno non ruota per mezzo di una speciale testa con cuscinetti a sfera.

L'intercapedine tra i due tubi consente il passaggio del fluido di perforazione che potrà essere acqua, fango bentonitico o polimeri in funzione del materiale incontrato.

L'utensile di taglio sarà costituito da corona diamantata o da corona con prismi di widia.

Nella perforazione di rocce molto compatte o di calcestruzzo si dovrà utilizzare un carotiere doppio con corona diamantata e fluido di perforazione costituito da acqua.

In presenza di rocce fratturate si useranno i carotieri tripli con fluidi di perforazione costituiti da acqua, fanghi bentonitici o polimeri.

Il sistema wire line prevede l'impiego di aste speciali che funzionano anche da tubi di rivestimento provvisorio e di uno speciale doppio carotiere collegato alla prima asta.

Il tubo interno del doppio carotiere, al termine di ogni manovra di carotaggio, dovrà essere recuperato mediante l'uso di un attrezzo di pescaggio che viene calato in foro con una fune all'interno delle aste wire line.

Per le operazioni di scarotatura (estrazione della carota) dovrà essere utilizzato un estrusore idraulico oppure una scarotatrice dotata di un regolatore della pressione di estrusione e di un tampone a tenuta che impedisca il contatto della carota con il fluido di spinta.

### *B.3. Rivestimento provvisorio*

Per evitare franamenti delle pareti del foro, la perforazione deve essere eseguita impiegando una tubazione metallica provvisoria di rivestimento o utilizzando fango bentonitico o a polimeri, salvo prescrizioni diverse di RFI.

La necessità del rivestimento provvisorio è da verificarsi in relazione alle reali caratteristiche del terreno.

In generale la perforazione sarà seguita dal rivestimento provvisorio del foro solo in assenza di un certo autosostentamento delle pareti con l'uso del fluido in circolazione. La pressione del fluido sarà la minore possibile e controllata tramite manometro. Il disturbo arrecato al terreno deve essere contenuto nei limiti minimi, fermando se necessario la scarpa del rivestimento a 20÷50 cm dal fondo foro (con esclusione del metodo wire-line).

Di norma, il rivestimento è installato a rotazione con circolazione di fluido il cui livello deve essere sempre mantenuto mediante aggiunta opportuna fino ad una quota tale da bilanciare la pressione idrostatica nel terreno naturale (in particolare durante l'estrazione della batteria di aste).

Nei tratti di perforazione seguiti da prelievi di campioni indisturbati e/o da prove in sito al fondo foro, l'infissione della tubazione di rivestimento, così come la perforazione quando fatta con fluido di circolazione, devono avvenire evitando punte di pressione del fluido dovute ad infissione molto rapida, a formazione di "anelli" all'esterno del rivestimento oppure a formazione di tappi nel carotiere.

A tal fine occorre operare (verificando sul manometro o sul registratore) in modo che la pressione del fluido, al piano lavoro, non superi mai quella naturale alla quota del fondo foro (pari a circa 0,1 bar per ogni metro di profondità).

Al fine di minimizzare il disturbo al fondo foro RFI potrà richiedere che il rivestimento venga arrestato 0,5 m al di sopra della quota di campionamento e/o di prova di sito prevista.

#### B.4. Fluidi di circolazione

Il fluido di circolazione durante l'avanzamento del rivestimento e, se consentito da RFI, nelle fasi di perforazione potrà essere costituito da:

- acqua;
- fango bentonitico;
- fanghi polimerici.

Il fango bentonitico dovrà avere le seguenti caratteristiche:

- viscosità, misurata con viscosimetro Marsh, maggiore di 45 gradi Marsh;
- acqua libera minore o uguale al 2%.

La confezione e la circolazione del fango bentonitico devono essere eseguiti mediante l'uso di adeguati mescolatori, pompe, vasche di decantazione ed eventuali additivi di appesantimento o intasanti.

La composizione del fango bentonitico, prima dell'impiego deve possedere i requisiti di uniformità, costanza e stabilità richiesti e durante l'impiego non deve dar luogo a fenomeni di flocculazione.

Possano essere utilizzati fanghi polimerici o altri fluidi speciali subordinati all'approvazione di RFI e a condizione che il fluido proposto, oltre a esplicare le funzioni di raffreddamento, di asportazione dei detriti e di eventuale sostentamento del foro, non pregiudichi la qualità del carotaggio, la possibilità di eseguire prove in sito e, soprattutto, che sia biodegradabile.

L'uso di sola acqua pulita è tassativamente prescritto nel caso si eseguano prove di permeabilità in foro o se richiesto espressamente da RFI per ovviare ad eventuali problematiche di tipo ambientali.

Nel caso di installazione di piezometri è ammesso solamente l'uso di acqua o di fanghi polimerici biodegradabili entro 72 ore.

L'Affidatario, ad ogni ricevimento in cantiere della bentonite, dovrà effettuare la verifica delle condizioni fisiche della stessa prelevando alcuni campioni da sacchi distinti; i campioni sottoposti ad un esame visivo non devono presentare alcuna alterazione per effetto dell'umidità. Analoga verifica dovrà essere eseguita su giacenze di bentonite in deposito per un periodo superiore a tre settimane.

L'Affidatario dovrà inoltre eseguire periodici controlli della densità (peso di volume unitario) e della viscosità del fluido ed a tal fine dovrà disporre in cantiere di apposito bilancino per la misura speditiva della densità.

#### B.5. Stabilità del fondo foro

La stabilità del fondo foro dovrà essere assicurata in ogni fase della lavorazione con particolare attenzione nei casi in cui il terreno necessiti di rivestimento provvisorio.

Il battente di fluido in colonna deve essere mantenuto prossimo a bocca foro mediante rabbocchi progressivi specialmente durante l'estrazione del carotiere e delle aste.

L'estrazione degli utensili deve avvenire con velocità iniziale molto bassa (1÷2 cm/sec), eventualmente intervallata da pause di attesa per il ristabilimento della pressione idrostatica del fluido sul fondo foro. Ciò riguarda le fasi dell'estrazione del carotiere e delle fustelle dei campionatori ad infissione conclusa.

Indesiderabili effetti di risucchio possono anche verificarsi nel caso di brusco sollevamento della batteria di rivestimento, qualora essa risulti occlusa all'estremità inferiore dal terreno per insufficiente circolazione di fluido durante l'infissione.

#### **B.6. Pulizia del fondo foro**

La quota del fondo foro dovrà essere misurata con scandaglio a filo graduato prima di ogni manovra di campionamento indisturbato o di qualsiasi tipo di prova eseguita in foro.

Apposite manovre di pulizia saranno eseguite quando la differenza tra quota raggiunta con la perforazione e quota misurata con scandaglio supererà le seguenti tolleranze:

- 7 cm, prima dell'uso di campionatori privi di pistone fisso o sganciabile meccanicamente e di prove SPT;
- 10 cm, prima dell'uso di campionatori con pistone fisso o sganciabile meccanicamente.

#### **B.7. Rilievo della falda**

Nel corso della perforazione dovrà essere rilevato in forma sistematica il livello della falda nel foro. Le misure verranno eseguite in particolare ogni mattina e ogni sera, prima di riprendere in lavoro ed al termine dello stesso, con annotazione dei seguenti dati:

- livello dell'acqua nel foro rispetto al piano campagna;
- quota del fondo foro;
- quota della scarpa dell'eventuale rivestimento;
- data ed ora della misura.

Tali annotazioni dovranno comparire anche nella documentazione definitiva del lavoro.

#### **B.8. Campionamento nei sondaggi**

Le modalità di campionamento possono prevedere il prelievo dei seguenti tipi di campione:

- B.8.a. rimaneggiato, raccolto fra i testimoni del carotaggio di qualsiasi litologia;
- B.8.b. indisturbato, prelevato con campionatore a pistone, fune, rotativo, in terreni coesivi e semicoesivi;
- B.8.c. campioni di carota lapidea prelevati nel corso del carotaggio in terreni rocciosi.

I campioni di tipo B.8.a. e B.8.b. devono assicurare una rappresentazione veritiera della distribuzione granulometrica del terreno; i campioni di tipo B.8.b. e B.8.c. non devono subire deformazioni strutturali rilevanti conservando inalterati:

- contenuto d'acqua (solo B.8.b.);
- peso di volume apparente;
- deformabilità;
- resistenza al taglio.

Tutti i campioni prelevati devono essere chiaramente contraddistinti mediante etichette inalterabili in cui siano riportate le seguenti informazioni:

- cantiere;
- numero del sondaggio e del campione;



- profondità di prelievo;
- data di prelievo;
- tipo di campionatore;
- orientamento del campione (parte alta, parte bassa).

I dati relativi al numero del campione, al tipo di campionatore impiegato ed al metodo di prelievo devono essere riportati nell'elaborato della stratigrafia anche nel caso di campionamenti non riusciti.

Nei campioni indisturbati si dovranno pulire accuratamente le estremità del campione rimuovendo le parti di terreno disturbato. Le estremità della fustella devono essere sigillate mediante uno strato di paraffina fusa e con due tappi chiusi ermeticamente con nastro adesivo impermeabile.

Tutti i campioni prelevati dovranno essere ricoverati in locali adatti, chiusi, prima del sollecito invio al laboratorio geotecnico.

#### B.8.a. Campioni rimaneggiati

I campioni rimaneggiati devono essere selezionati dal "carotaggio" nella fase di sistemazione dello stesso nella cassetta catalogatrice.

Essi devono essere rappresentativi della granulometria e del materiale prelevato.

Dovranno essere sigillati in sacchetti o barattoli di plastica trasparente, contraddistinti con un cartellino indelebile posto all'esterno del sacchetto o del barattolo con le indicazioni di cui sopra.

Devono quindi essere ricoverati in un locale riparato e successivamente inviati al laboratorio geotecnico.

La quantità necessaria è di circa 0,5 kg per i terreni fini e di circa 5 kg per quelli grossolani (con ghiaia).

I dati sopraelencati dovranno essere riportati anche sulla stratigrafia del sondaggio.

Rientrano in questa categoria di campioni gli spezzoni delle carote (di lunghezza  $\geq 15$  cm) prelevate con la perforazione in roccia o in strati cementati; essi devono essere selezionati nella fase di sistemazione nella cassetta catalogatrice, puliti, descritti e ricoperti quindi con paraffina fusa.

Preferibilmente dovranno essere poi inseriti in contenitori cilindrici rigidi con l'indicazione indelebile dei dati di riconoscimento del singolo campione.

#### B.8.b. Campioni indisturbati

I campionatori da utilizzarsi dovranno impiegare una fustella a pareti sottili in acciaio inox con i seguenti parametri dimensionali:

- rapporto L/D  $\cong 8$

- rapporto delle aree:

$$c_p = \frac{D_{est}^2 - D_i^2}{D_i^2} \cdot 100 = 9 \div 13$$

- coefficiente di spoglia interna:

$$c_i = \frac{D_i - D}{D} \cdot 100 = 0,0 \div 1,0 \quad \text{secondo necessità}$$

- diametro utile  $\geq 85$  mm

L = lunghezza utile della fustella

D<sub>i</sub> = diametro interno della fustella

D<sub>est</sub> = diametro esterno della fustella

D = diametro all'imboccatura della fustella

La fustella deve essere liscia, priva di cordoli, non ovalizzata. Il prelievo dei campioni può essere eseguito, a seconda della compattezza del terreno, con l'uso dei seguenti strumenti:

- 1 - *campionatore a pistone infisso idraulicamente (tipo Osterberg);*  
Il campionatore ad infissione idraulica del pistone (tipo Osterberg) può essere utilizzato con profitto in terreni coesivi aventi resistenza al taglio  $\leq 200$  kPa, in relazione alla potenza della pompa utilizzata; può essere impiegato con risultati positivi anche in sabbie fino a mediamente addensate.
- 2 - *campionatore a fune con infissione meccanica del pistone;*  
Il campionatore a fune con pistone agganciabile permette il campionamento in terreni la cui consistenza arresta la fustella spinta idraulicamente. Può essere utilizzato positivamente in sostituzione del campionatore Shelby di cui presenta la stessa capacità penetrativa (utilizza la spinta meccanica della batteria di aste) con i vantaggi del pistone.
- 3 - *campionatore rotativo a pareti sottili;*  
Il campionatore rotativo a pareti sottili, con scarpa sporgente, permette di campionare i terreni la cui consistenza arresta l'infissione a pressione della fustella. Viene spinto e ruotato meccanicamente dalla batteria di aste, in presenza di fluido di circolazione.
- 4 - *altri campionatori preventivamente autorizzati da RFI;*  
I campionatori tradizionali (Shelby, Denison, Mazier) possono essere utilizzati solo in seguito alla preventiva autorizzazione di RFI e comunque sotto la completa responsabilità dell'Affidatario per quanto riguarda l'esito del campionamento. Altri tipi di campionatore possono essere presentati dall'Affidatario per essere sottoposti a preventivo esame da parte di RFI.

L'infissione del campionatore deve avvenire in un'unica tratta, senza soluzione di continuità e senza flessioni o rotazioni del campionatore.

I campionatori a pistone devono essere costruiti in modo da poter portare alla pressione atmosferica, a fine prelievo, la superficie di contatto fra la parte alta del campione ed il pistone.

Nel campione rotativo, la sporgenza della fustella dal carotiere esterno può essere regolata a priori tra 0,5 e 3 cm, ma deve poi rimanere costante durante ciascun prelievo.

Il prelievo di campioni indisturbati deve seguire la manovra di perforazione e precedere quella di rivestimento a quota; nel caso di autosostentamento del foro nel tratto scoperto non esista anche per il breve lasso di tempo necessario al prelievo, si dovrà rivestire prima di campionare avendo cura di fermare l'estremità inferiore del rivestimento metallico provvisorio 0,2÷0,5 m più alta della quota di inizio prelievo, ripulendo quindi il fondo foro. Si dovrà inoltre evitare qualsiasi eccesso di pressione nel fluido di perforazione nella fase di installazione del rivestimento. A tal fine la pressione del fluido a testa foro dovrà essere controllabile in ogni istante attraverso un manometro di basso fondo scala (10 bar) da escludersi nelle fasi di campionamento Osterberg, ove sono necessarie pressioni maggiori.

#### B.8.c. Campioni di carota di roccia e/o di strati cementati

I campioni di roccia, oltre ad assicurare una rappresentazione litologica della roccia, non devono subire rotture meccaniche al momento del prelievo conservando inalterate le caratteristiche strutturali.

I campionatori utilizzabili sono:

1. Doppio carotiere NT6S : si tratta di un doppio carotiere a rotazione costituito da due tubi indipendenti e munito di corona a scarico frontale in modo da preservare il campione dal fluido di perforazione.  
Il tubo interno, non rotante, ha la funzione di contenitore del campione; tale tubo campionatore è

divisibile longitudinalmente a metà e permette l'esame immediato del campione senza doverlo estrarre meccanicamente.

Il campione, quindi, può essere trasferito nella cassetta portacampioni senza alcun disturbo.

2. ***Doppio carotiere NT6S con modifica***: si tratta di un carotiere NT6S il cui tubo interno originale viene sostituito con due adattatori che permettono l'alloggiamento di una fustella portacampioni in PVC.

In questo modo si possono ottenere dei campioni di qualità in fustella con formazioni difficili quali argilliti e marne.

3. ***Triplo carotiere wire line***: si tratta di un campionatore wire line a tripla parete con fustelle portacampioni in PVC trasparente che permette di prelevare campioni fino a 3 m di lunghezza totale.

Le caratteristiche della fustella in PVC trasparente permettono una descrizione geomeccanica di dettaglio del campione prelevato direttamente in cantiere e la possibilità di scegliere la parte più idonea del campione da sottoporre alle prove di laboratorio.

Questo tipo di campionatore permette il prelievo di campioni significativi per prove di laboratorio anche su litotipi dotati di caratteristiche meccaniche particolarmente scadenti.

#### **B.9. Percentuale di carotaggio modificata (RQD)**

L'indice RQD (Rock Quality Designation) va calcolato come rapporto tra la somma delle singole lunghezze dei pezzi di carota maggiori di 10 cm e la lunghezza del tratto carotato.

Per lunghezza del tratto carotato si intende l'effettivo avanzamento anche se minore della lunghezza del carotiere.

Nel calcolo dell'indice RQD dovrà essere esaminata attentamente la natura delle fratture; superfici di fratture fresche, rotte in modo regolare e giuntabili facilmente dipendono dall'azione meccanica di carotaggio e non devono concorrere al calcolo dell'indice RQD.

Di norma devono essere considerate discontinuità naturali caratteristiche dell'ammasso le fratture lisce, apparentemente fresche ma non ricongiungibili e quelle contenenti prodotti di degradazione meteorica o alterazioni, elementi cementanti nonché striature.

#### **Qualità della roccia in base ai valori di R.Q.D.**

<b>R.Q.D. (%)</b>	<b>Qualità della roccia</b>
0-25	molto scadente
25-50	scadente
50-75	discreta
75-90	buona
90-100	ottima

#### **B.10. Cassette catalogatrici**

Le carote estratte nel corso della perforazione dovranno essere sistemate in apposite cassette catalogatrici (in legno, metallo, plastica pressofusa o similari), munite di scomparti divisorii e coperchio apribile a cerniera.

Gli scomparti dovranno avere una lunghezza interna di 1 m tale da consentire in ogni cassetta la conservazione di 5 m di carotaggio.

Sul fondo delle cassette sarà posto un foglio di plastica di dimensioni tali da poter essere rivoltato a protezione delle carote alloggiato

Le carote coesive verranno scortecciate, le lapidee lavate. Dei setti separatori suddivideranno i recuperi delle singole manovre, recando indicate le quote rispetto al piano campagna. Negli scomparti saranno inseriti blocchetti di legno o simili a testimoniare gli spezzoni di carota prelevati ed asportati per il laboratorio con le quote di inizio e fine di tali prelievi.

Le singole cassette verranno fotografate con pellicola a colori entro 24 ore dal loro completamento. Si richiede la completa leggibilità di tutte le indicazioni esistenti sulla cassetta ed una visione chiara delle carote contenute; si consiglia quindi una foto presa dall'alto e scattata da una distanza non superiore a 2 m.

Le fotografie potranno essere consegnate su stampa fotografica (formato minimo 10x15 cm) oppure in formato digitale (Jpeg, Tiff) registrate in floppy-disk o Cd-rom.

Sul coperchio e su almeno un lato di ciascuna cassetta dovranno essere indicati i dati di identificazione della parte di carotaggio contenuta così come specificato:

- cantiere e/o località in cui è stato eseguito il sondaggio;
- sigla e numero del foro;
- quota, riferita al piano campagna, di inizio e fine della parte di carotaggio contenuta;
- numero progressivo di ciascuna cassetta catalogatrice.

#### B.11. Registrazione dei parametri di perforazione

Ove richiesto da RFI, per tutta la perforazione e/o parte di essa, dovranno essere registrati, in funzione della profondità di perforazione, tramite idonei sensori elettrici di misura direttamente collegati ai circuiti di trasmissione oleopneumatica, i seguenti parametri:

- velocità di rotazione dell'utensile ( $V_r$ );
- velocità istantanea di avanzamento ( $V_a$ );
- pressione relativa alla spinta che agisce sull'utensile di perforazione (PCS);
- pressione di iniezione del fluido di circolazione (PIF);
- pressione relativa alla coppia di rotazione trasmessa.

Ove possibile dovrà essere determinato, in continuo, anche il volume del fluido iniettato dalla pompa solidale all'attrezzatura di perforazione utilizzata ed allo scopo opportunamente attrezzata.

La registrazione dei parametri dovrà avvenire preferibilmente con la frequenza di un'operazione di memorizzazione per 1 cm di avanzamento dell'utensile oppure con la frequenza di una registrazione al minuto, nel caso di avanzamenti inferiori a 1 cm/minuto. In ogni caso la frequenza di registrazione non dovrà mai essere superiore a 5 cm di avanzamento.

I dati rilevati dovranno essere memorizzati tramite idonei registratori (digitale, a cassetta, ...) e dovranno poter essere elaborati automaticamente in cantiere, prevedendo allo scopo dispositivi di stampa provvisoria delle diagrafie tali da consentire ove necessario la verifica da parte di RFI della validità oltre che dell'accuratezza del rilievo attuato.

#### B.12. Riempimento dei fori di sondaggio con miscele cementizie

Il foro di sondaggio, all'interno del quale non è stata installata alcuna strumentazione, dovrà essere riempito con miscela cementizia costituita dai seguenti componenti nelle proporzioni elencate (in peso):

- acqua: 100
- cemento: 30
- bentonite: 5

L'inserimento della miscela nel foro di sondaggio sarà eseguito dal fondo, in risalita, con una batteria di tubi apposita o con manichetta flessibile.

Il riempimento del foro dovrà risultare omogeneo e privo di cavità.

#### B.13. Sistemazione al piano campagna della bocca di sondaggio

Quando il foro di sondaggio deve essere ispezionabile si dovrà provvedere alla sistemazione della bocca del sondaggio al piano di campagna in modo da evitare manomissioni esterne e in modo da permettere di eseguire i controlli periodici e le letture delle apparecchiature installate in sito.

La sistemazione della bocca del foro potrà essere eseguita mediante semplice flangia in ferro zincato con chiusura di sicurezza oppure, nel caso in cui la situazione locale lo richieda, si dovrà provvedere alla formazione di un adeguato pozzetto in muratura o conglomerato cementizio corredato di chiusino carrabile.

#### C. Documentazione

Per ogni sondaggio eseguito dovranno essere consegnati i seguenti elaborati:

- a) COLONNA STRATIGRAFICA con esplicite indicazioni relative a:
- cantiere;
  - numero e ubicazione precisa del sondaggio;
  - data di inizio e di ultimazione;
  - attrezzatura e sistema di perforazione;
  - utensile/i di perforazione;
  - fluido/i di circolazione;
  - accorgimenti per assicurare la stabilità delle pareti del foro;
  - quota assoluta del piano campagna;
  - profondità e quota assoluta iniziale e finale di ogni strato di terreno attraversato;
  - numero ed ubicazione dei campioni di terreno prelevati;
  - rappresentazione stratigrafica dei terreni attraversati alle varie profondità;
  - percentuali di carotaggio;
  - presenza ed ubicazione precisa dei livelli acquiferi eventualmente intercettati e relative quote di livello statico;
  - natura e caratteristiche dei terreni attraversati con particolare riferimento a:

##### **in terreni non lapidei**

- colore/i prevalente/i della formazione;
- composizione granulometrica approssimata nei termini correnti (trovanti, ciottoli, ghiaia, sabbia, limo, argilla), indicando tra l'altro il diametro massimo della ghiaia, la tessitura, la presenza di sostanze organiche o torbe, fossili, legno ecc;
- caratteristiche di consistenza (terreni coesivi) nei termini correnti (tenero, plastico, compatto, molto compatto) e con riferimento alle prove in sito eseguite (penetrometro tascabile e vane test);
- caratteristiche di addensamento (terreni non coesivi) nei termini usuali (poco addensato, mediamente addensato, molto addensato) con riferimento ad eventuali prove SPT;

- grado di arrotondamento e/o di appiattimento e natura delle ghiaie e dei ciottoli;
- spessori e frequenze di alternanze litologiche e laminazioni ritmiche.

#### **in terreni lapidei**

- natura litologica;
- durezza;
- colore;
- natura e quantità del cemento, della matrice e dello scheletro;
- natura ed ubicazione di discontinuità e giunti presenti, loro spaziatura ed apertura nonché loro orientamento rispetto all'asse del sondaggio;
- presenza di materiale di riempimento e natura dello stesso;
- grado di alterazione;
- descrizione dello stato di frammentazione del materiale recuperato nei termini convenzionali (breccie fine 0-0,6 cm; breccie medio 0-2 cm; breccie grosso 0-6 cm) e lunghezza in centimetri dei singoli elementi cilindrici integri delle carote secondo l'ordine dall'alto verso il basso (ad esempio: 10 cm di carota, breccie fine, 20 cm di carota, breccie grosso, 10 cm di carota);
- recupero di carotaggio corretto (RQD) espresso come rapporto tra la lunghezza totale di materiale effettivamente recuperato, ottenuto come somma dei tratti di carota di lunghezza  $\geq 10$  cm (inclusi eventuali frammenti con rotture fresche che devono essere inseriti insieme e contati come un unico pezzo purché abbiano lunghezza superiore a 10 cm) e la lunghezza totale della manovra eseguita.
- eventuali anomalie o difficoltà particolari riscontrate durante la perforazione nonché qualsiasi altra indicazione ritenuta utile dall'operatore o da RFI ai fini dell'indagine.

### **Perforazione a distruzione di nucleo**

#### Generalità

I sondaggi con perforazione a distruzione di nucleo vengono di norma eseguiti:

- per l'esecuzione di prove geotecniche, geomeccaniche o idrogeologiche a quota prestabilita;
- per l'allargamento del foro prodotto da un attrezzo impiegato per l'esecuzione di una prova in sito;
- per l'attraversamento di strati ad elevata resistenza per consentire l'approfondimento di prove in sito;
- per eseguire sondaggi speditivi atti al riconoscimento indiretto della stratigrafia dei terreni;
- per la posa in opera di apparecchiature di controllo e monitoraggio.

Normative e raccomandazioni di riferimento:

- Associazione geotecnica italiana (1977) -"Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche".

## A. Attrezzatura

### A.1. Sonda di perforazione

Di norma devono essere utilizzate le stesse attrezzature di perforazione indicate per i sondaggi a carotaggio continuo al punto A.1. .

### A.2. Utensili di perforazione

Dovranno essere disponibili in cantiere:

- carotieri semplici e/o doppi;
- triconi o utensili a distruzione dotati di fori radiali per la fuoriuscita del fluido di circolazione.

### A.3. Utensili di pulizia fondo foro

vedere sondaggio a carotaggio continuo punto A.3. .

### A.4. Rivestimento provvisorio

vedere sondaggio a carotaggio continuo punto A.4. .

### A.5. Strumenti di controllo e prova

vedere sondaggio a carotaggio continuo punto A.5. .

## B. Modalità esecutive

### B.1. Generalità

La perforazione a distruzione di nucleo, a rotazione o a rotopercolazione, può essere eseguita con diametro variabile (comunque non inferiore a mm 100 a meno di specifica richiesta di RFI) impiegando gli utensili di cui al punto precedente o eventuali altri utensili proposti dall'Affidatario ed autorizzati da RFI.

La scelta del diametro di perforazione, da definire in funzione delle prove e degli strumenti da eseguire o da installare in foro, dovrà essere approvata da RFI ed essere conforme alle specifiche delle Tariffe in contratto.

Ove richiesto le attrezzature per la perforazione dovranno essere munite di apparecchiature per la misura e la registrazione dei parametri di perforazione come indicato al punto B.11. del "Sondaggio a carotaggio continuo".

Se necessario dovrà essere impiegata una tubazione metallica provvisoria di rivestimento con le caratteristiche di cui al punto B.3. del "Sondaggio a carotaggio continuo".

Analogamente per il fluido di circolazione valgono le indicazioni di cui al punto B.4. del "Sondaggio a carotaggio continuo".

Per quanto riguarda la stabilità del fondo foro, la pulizia dello stesso, il rilievo della falda, l'eventuale prelievo di campioni indisturbati nonché il riempimento dei fori di perforazione si dovrà fare riferimento a quanto riportato nel paragrafo relativo ai sondaggi a carotaggio continuo.

#### *B.1.1. Perforazione a distruzione di nucleo nei terreni sciolti*

Nei terreni sciolti a granulometria fine (argilla, limo e sabbia) la perforazione sarà eseguita a rotazione con l'impiego di scalpelli a lame con circolazione di acqua e fango bentonitico con o senza polimeri.

Nei materiali sciolti a granulometria grossolana (ghiaia, ciottoli) si useranno di preferenza scalpelli a rulli

(triconi).

In entrambi i casi le pareti del foro saranno sostenute con tubi di rivestimento provvisorio ovvero con fanghi bentonitici o a base di polimeri.

Nei casi in cui le condizioni lo consentano, la perforazione potrà essere eseguita solamente con i tubi di rivestimento provvisorio, con circolazione di acqua e fango. In tal caso si potranno rendere necessarie delle manovre di pulizia del foro.

Nei terreni sciolti con presenza di grossi elementi lapidei (blocchi, trovanti) alternati a terreni a granulometria minore potrà essere utilizzato l'impiego del metodo di perforazione Odex. Tale metodo prevede l'uso combinato di un martello a fondo foro con eccentrico e del rivestimento metallico provvisorio.

#### *B.1.2. Perforazione a distruzione di nucleo nelle rocce*

Nei materiali lapidei la perforazione a distruzione verrà eseguita a rotazione o a rotopercolazione.

Nel primo caso si userà uno scalpello a rulli (tricono) con circolazione di acqua o fango.

Nel secondo caso, invece, si userà il martello a fondo foro e, come fluido, aria in pressione eventualmente insieme a prodotti schiumogeni.

#### *B.2. Prelievo di carote*

Se richiesto da RFI, la perforazione a distruzione di nucleo dovrà essere interrotta per consentire il prelievo, a carotaggio continuo, di carote di lunghezza minima non inferiore a 1,5 m .

#### *B.3. Sistemazione al piano campagna della bocca di perforazione*

Quando il foro della perforazione deve essere ispezionabile si dovrà provvedere alla sistemazione della bocca del foro al piano di campagna in modo da evitare manomissioni esterne e da permettere di eseguire i controlli periodici e le letture delle apparecchiature installate in sito. La sistemazione della bocca del foro potrà essere eseguita mediante semplice flangia in ferro zincato con chiusura di sicurezza oppure, nel caso in cui la situazione locale lo richieda, si dovrà provvedere alla formazione di un adeguato pozzetto in muratura o conglomerato cementizio corredato di chiusino carrabile.

#### C. Documentazione

Per ogni perforazione eseguita dovranno essere consegnati i seguenti elaborati:

- a) COLONNA STRATIGRAFICA con esplicite indicazioni relative a:
  - cantiere;
  - numero e ubicazione precisa della perforazione;
  - data di inizio e di ultimazione;
  - attrezzatura e sistema di perforazione;
  - utensile/i di perforazione;
  - fluido/i di circolazione;
  - accorgimenti per assicurare la stabilità delle pareti del foro;
  - quota assoluta del piano campagna;
  - profondità e quota assoluta iniziale e finale di ogni strato di terreno attraversato;
  - numero ed ubicazione delle carote prelevate;
  - natura e caratteristiche geolitologiche di massima dei terreni attraversati;





RETE FERROVIARIA ITALIANA

MANUALE DI PROGETTAZIONE  
GEOLOGIA

MANUALE DI PROGETTAZIONE

Codifica: RFI DINIC MA GE 00 001 B

FOGLIO  
33 di 162

- presenza ed ubicazione precisa dei livelli acquiferi eventualmente intercettati e relative quote di livello statico;
- eventuali anomalie o difficoltà particolari riscontrate durante la perforazione, nonché qualsiasi altra indicazione ritenuta utile dall'operatore o da RFI ai fini dell'indagine.

### 3.2.2. Pozzi per acqua

#### Perforazione di pozzi

##### Generalità

La realizzazione di un pozzo per acqua passa attraverso diverse fasi che, in ordine successivo, comprendono essenzialmente:

1. esecuzione della perforazione (a rotopercolazione, rotazione, ecc.);
2. attrezzaggio (tubaggio, drenaggio, cementazione, ecc.);
3. messa in funzione (spurgo, lavaggio, ecc.).

La perforazione del pozzo dovrà fornire indicazioni sulle successioni stratigrafiche e sulla situazione idrogeologica del sottosuolo e dovrà essere pertanto condotta con i necessari accorgimenti onde ottenere la serie completa dei terreni attraversati e la corretta individuazione dei livelli acquiferi intercettati in modo tale da consentire la definizione di un progetto di dettaglio del pozzo in cui siano indicati di tipo di filtri da adottare, la pompa da utilizzare per la prova di portata, gli orizzonti da isolare, ecc..

##### A. Attrezzatura

L'attrezzatura utilizzata per la perforazione varierà a seconda del metodo di perforazione prescelto che può essere: a rotazione e circolazione diretta, a rotazione e circolazione inversa, a rotopercolazione; comunque tale da permettere la realizzazione di un foro di diametro mai inferiore a mm 400, anche alla massima profondità raggiunta, e in terreni di qualsiasi natura, consistenza e durezza.

##### A1. A rotazione e circolazione diretta

L'impianto per la perforazione è costituito essenzialmente da:

- a) un traliccio con carrucole e cavo di manovra (diametro 16÷22 mm) e di servizio (diametro 12÷20 mm);
- b) un basamento con tavola rotary, motore, argani, ecc.

Gli utensili di perforazione saranno a lame o rulli, più raramente carotieri. Se la macchina trasmette il movimento rotatorio tramite testa motrice, anziché tavola rotary, la testa motrice stessa dovrà essere montata direttamente sul traliccio.

Le aste di perforazione saranno di vario tipo: generalmente a foro avanzato si utilizzeranno, a partire dal basso, aste pesanti (per dare carico agli utensili di perforazione; diametro più grande possibile in relazione al foro), aste di perforazione (lunghezze standard di 3 - 4,5 - 6 - 9 m, con giunti filettati), asta motrice.

Per controllare i carichi sull'utensile di perforazione è raccomandabile l'uso di un dinamometro sul cavo di collegamento.

##### A2. A rotazione e circolazione inversa

Tale metodo risulta valido soprattutto per grandi profondità.

Nelle linee essenziali l'attrezzatura non differisce molto da quella a rotazione e circolazione diretta, con l'aggiunta di una pompa centrifuga, e per fori a grande profondità, di un compressore.

### A3. A rotopercolazione

Questo metodo è utilizzato per i materiali rocciosi.

L'attrezzatura è analoga a quella a rotazione, senza però uso di fango, con un compressore d'aria per la pulizia del foro, un convogliatore per l'allontanamento delle polveri dal luogo di operazioni. L'attrezzo di perforazione è un martello a fondo foro.

### B. Modalità esecutive

Indipendentemente dal metodo utilizzato, dovrà essere eseguito un prelievo di campioni di detrito in numero sufficiente a ricostruire l'esatta successione stratigrafica dei terreni attraversati, nonché misure accurate delle quote di rinvenimento e del livello statico delle eventuali falde acquifere incontrate.

Inoltre dovrà essere eseguita, alla fine o all'inizio di ogni turno di lavoro, la misura del livello dell'acqua all'interno del foro, previa adeguata operazione di spurgo.

### B1. A rotazione a circolazione diretta

Come utensili di perforazione nei terreni più teneri si utilizzeranno scalpelli a lame o a rulli dentati, in quelli più duri solo gli scalpelli a rulli.

In tale metodo acquisisce una funzione determinante il fluido di perforazione che ha lo scopo di raffreddare le aste, portare in superficie i detriti, sostenere le pareti del foro. Non si useranno quindi tubi di rivestimento.

Il fluido di perforazione dovrà essere preparato avendo cura di impiegare sostanze non tossiche e biodegradabili.

In particolare per l'uso dei polimeri l'Affidatario dovrà fornire la scheda tecnica relativa ai prodotti impiegati.

Il fluido dovrà essere tenuto costantemente sotto controllo con appositi tests per verificarne le caratteristiche fisico-chimiche.

L'Affidatario dovrà porre massima cura nell'evitare anormali assorbimenti di fluido di perforazione che potrebbero contaminare la falda attraversata.

La velocità di risalita del fango sarà compresa tra 30 e 50 m/min, con una buona tenuta in sospensione dei detriti, ed eseguendo la rimozione di questi ultimi in superficie mediante vibrovaglio o centrifugazione.

Il fango dovrà avere una densità di 1,1÷1,2 kg/l a seconda dei solidi presenti (in soluzione o sospensione) e una viscosità misurata mediante l'imbuto di Marsh compresa tra 35 e 40 gradi Marsh.

In ogni caso la viscosità dei fluidi di perforazione dovrà essere tale da consentire la separazione dei cuttings, in rapporto al diametro di perforazione ed alla portata del fluido.

Nel caso in cui si esegua la perforazione con aria compressa e il diametro di perforazione sia abbastanza grande si possono aggiungere tensioattivi che favoriscono il sollevamento dei cuttings nel foro. Gli stessi tensioattivi possono essere impiegati per l'abbattimento delle polveri.

### B2. A rotazione e circolazione inversa

Per il controllo dei fluidi valgono le indicazioni del punto B1.

La spinta dal basso al fluido di perforazione all'interno della colonna di aste, onde favorirne la risalita, viene fornita da aria compressa prodotta dal compressore esterno e iniettata attraverso ugelli posti nella testa dello scalpello.

Come regola generale si manterrà un rapporto di 1,4÷1,7 tra portata d'aria e portata del fluido e un rapporto di 0,005÷0,02 tra portata del materiale solido e portata del fluido.

La velocità discensionale del fluido lungo l'intercapedine aste-pozzo non sarà superiore a 20 m/min, mentre quella di risalita all'interno delle aste non inferiore a 3÷4 m/sec, con una velocità rotativa dello scalpello compresa tra 50 e 100 giri/min.

### B3. A rotopercussione

In questo tipo di perforazione si combina l'azione rotante del sistema a rotazione (velocità di 25÷30 giri/min) con una azione battente di un martello a fondo foro. Non si usano rivestimenti, e la pulizia del foro viene ottenuta tramite l'aria fornita dal compressore.

### C. Completamento del pozzo

Lo schema definitivo di completamento del pozzo deve comprendere:

- la profondità del pozzo con la tubazione definitiva;
- il diametro del tubo;
- la posizione dei filtri;
- le caratteristiche dei filtri;
- la granulometria del drenaggio e le quote;
- le quote di cementazione e di tamponamento;
- la metodologia di sviluppo del pozzo

### C1. Tubi e filtri

La tubazione definitiva del pozzo dovrà avere i requisiti previsti dalle norme UNI 150 o API e dovranno essere posti in opera coassialmente al foro utilizzando idonei centratori.

I filtri possono essere del tipo "fresato", "a ponte", e "a spirale continua" con aperture dimensionate secondo la granulometria dello strato produttivo; anche i filtri dovranno essere centrati rispetto al foro.

I tubi potranno essere di acciaio (trafilato o saldato) nero di laminazione, bituminato, zincato a caldo.

Per evitare i fenomeni di corrosione i tubi potranno essere in acciaio Inox o di PVC atossico.

La scelta del materiale costituente il tubo e i filtri dovrà essere operata considerando l'utilizzo del pozzo, la situazione geologico-stratigrafica e le condizioni operative di perforazione nonché le caratteristiche chimiche delle acque.

Le giunzioni dei tubi di acciaio dovranno essere eseguite mediante elettrosaldature di teste smussate per il 40% dello spessore. Nel caso di tubi bituminati si riprenderà il tratto interessato dalla saldatura con una nuova bituminatura esterna a freddo.

Le giunzioni dei tubi di acciaio potranno essere filettate (da preferirsi per tubi zincati).

Nelle perforazioni a circolazione diretta, soprattutto se profonde, è preferibile adottare tubi API che consentono di utilizzare al meglio le dimensioni nei passaggi del "cannocchiale".

I tubi API presentano composizioni metallurgiche ottime, spessori elevati, giunzioni filettate ed alta resistenza meccanica.

L'efficienza del pozzo dovrà essere verificata attraverso un piezometro tipo Norton (a tubo aperto) messo in opera nell'intercapedine compresa tra la parete del foro e la tubazione definitiva.

### C2. Manto drenante

La classe granulometrica del ghiaietto impiegato per il drenaggio sarà determinata in funzione delle caratteristiche dell'acquifero e dovrà essere del tipo arrotondato, proveniente da cave in sedimenti fluviali, a

prevalente composizione silicea.

Non è consentito l'uso di materiale proveniente da impianti di frantumazione.

Il ghiaietto siliceo sarà impiegato per riempire l'intercapedine tra la parete del foro e la tubazione definitiva fino al primo tamponamento o cementazione.

La quota raggiunta dal drenaggio dovrà essere misurata mediante idoneo misuratore di profondità prima dell'inizio delle operazioni di cementazione selettiva.

### C3. Isolamento delle falde e cementazione

Gli strati impermeabili significativi, attraversati dalla perforazione, dovranno essere ripristinati in fase di completamento mediante la creazione di setti con argilla (permeabilità  $< 10^{-9}$  m/s),

Il setto impermeabile può essere ripristinato anche mediante iniezione di boiaccia di cemento pozzolanico o Portland confezionato con densità di riferimento pari a 1,8 kg/l.

La boiaccia dovrà essere iniettata alla quota stabilità mediante un piccolo tubo di discesa posizionato nell'intercapedine tra parete del foro e tubazione definitiva; l'iniezione della boiaccia dovrà avvenire a partire dal basso.

Il riempimento con ghiaia può essere ripreso senza attendere la presa del cemento calcolando il volume dei pori della ghiaia stessa ed il conseguente spiazzamento/innalzamento della boiaccia.

Nel tratto più superficiale, purché saturo, si potrà eseguire un getto di calcestruzzo dall'alto.

Nel completamento dei pozzi a circolazione diretta, con cementazione completa del primo tratto di colonna, si dovrà installare una scarpa di cementazione con valvola al fondo della colonna e si inietterà attraverso di essa la boiaccia di cemento fino alla sua fuoriuscita per controllare l'efficacia dell'intervento.

### C4. Sviluppo del pozzo

L'Affidatario dovrà disporre delle attrezzature necessarie per lo sviluppo del pozzo secondo le seguenti metodologie:

- pistonaggio meccanico;
- pistonaggio pneumatico;
- air-lift a semplice o doppia colonna;
- con pompe sommerse di adeguate caratteristiche.

La fase di sviluppo di dovrà protrarre per almeno 24 ore e comunque fino all'ottenimento di acqua limpida anche dopo ripetute accensioni continue della pompa di sollevamento con contenuto di sabbia inferiore a 5 ppm a meno di diverse prescrizioni.

### C5. Prova di portata finale

L'Affidatario dovrà predisporre nel pozzo una pompa dalle caratteristiche (portata e prevalenza) superiori a quelle indicate in progetto ed eventualmente confermate dopo lo sviluppo.

L'impianto di sollevamento sarà completo di:

- pompa;
- tubazione di mandata dell'avviatore elettrico;
- della tubazione per l'allontanamento dell'acqua dal pozzo al più vicino scarico utile.

Le acque scaricate non devono rientrare immediatamente in circolo provocando una "ricarica di falda" che potrebbe falsare i risultati della prova di portata.

L'Affidatario dovrà predisporre un adeguato e preciso sistema di misurazione della portata, di regolazione

della portata e di misurazione del livello dell'acqua nel pozzo.

La configurazione del sistema di allontanamento dell'acqua deve essere tale da impedire variazioni di perdite di carico durante l'esecuzione della prova e non dovranno pertanto essere effettuati innalzamenti o piegature del sistema stesso.

Se, per la misura della portata, si utilizza uno strumento inserito nel tubo di allontanamento dell'acqua, tale strumento dovrà essere montato in modo tale da non creare fenomeni di trazione curvando il tubo verso l'alto per risultare sempre tutto pieno.

Il rilievo dei livelli dinamici dovrà avvenire per mezzo di una strumentazione elettronica che permetta la memorizzazione e la visualizzazione immediata delle letture su display.

Le prove di portata previste sono:

- a gradini;
- a portata costante.

#### *Prova a gradini*

La prova a gradini permette di ricostruire la curva caratteristica del pozzo.

Il numero di gradini (non inferiore a quattro) e la portata di emungimento dovranno essere concordate con RFI.

La durata dell'emungimento per ogni singolo gradino deve essere sufficientemente lunga da permettere la stabilizzazione del livello dinamico e comunque non inferiore a due ore.

Per ogni gradino deve essere misurata e registrata la portata ed il livello dinamico di stabilizzazione sulla base delle quali deve essere costruita la curva durante l'evoluzione della prova.

Dopo avere individuato la portata critica del pozzo, si dovrà regolare la portata per l'esecuzione della prova di lunga durata al termine della quale la pompa sarà spenta.

La portata di esercizio dovrà essere di circa il 10% inferiore alla portata critica.

#### *Prova a portata costante*

La prova a portata costante avrà inizio non prima di 12 ore dal termine della prova a gradini e si svilupperà per almeno 24 ore; potrà essere interrotta soltanto dopo il raggiungimento della stabilizzazione del livello dinamico.

A seguito di preventiva autorizzazione da parte di RFI, la prova potrà essere interrotta prima delle 24 ore qualora la stabilizzazione del livello dinamico si sia mantenuta per almeno 6 ore.

La registrazione dei livelli della falda in discesa deve essere eseguita sia nel pozzo che nei piezometri installati in prossimità del pozzo.

La registrazione dei livelli di risalita sarà effettuata per almeno 24 ore e potrà essere interrotta solo quando è stato recuperato tutto l'abbassamento della falda dovuto al pompaggio.

Durante il pompaggio, periodicamente, dovrà essere verificata la portata di esercizio.

L'interpretazione dei risultati dovrà essere effettuata per le misure registrate sia in fase di discesa che di risalita.

In presenza di anomalie dell'andamento della prova, la prova stessa dovrà essere interrotta e potrà riprendere soltanto dopo avere rimosso le cause delle anomalie; la prova, comunque, potrà riprendere soltanto dopo che il livello della falda sia nuovamente stabilizzato al valore statico di partenza.

#### C6. Scarichi e smaltimenti

Il progetto di realizzazione del pozzo deve espressamente prevedere tutte le procedure necessarie per il

deposito, il trattamento in cantiere e l'allontanamento dei residui solidi e liquidi della perforazione la cui compatibilità con l'area operativa e con l'ambiente circostante devono essere valutate in fase di progettazione.

Nella perforazione a rotazione con circolazione di fluidi a base di bentonite o di polimeri si realizzeranno vasche per il deposito ed il primo trattamento dei fluidi stessi (oltre le vasche necessarie per la circolazione).

Se lo scarico dei fluidi non risulta compatibile con i limiti di legge, l'Affidatario dovrà incaricare una ditta specializzata che provvederà alla depurazione.

Nella perforazione ad aria compressa si dovrà contenere l'aggiunta di tensioattivi, provvedendo altresì all'abbattimento della schiuma ove necessario. Nel progetto del pozzo dovrà essere verificata la compatibilità dello scarico con il corpo ricevente dal momento che di norma non è accettabile il trattamento dei liquidi così come fuoriescono dal pozzo a meno che la portata non risulti così bassa da rendere economicamente sostenibile i trattamenti dei residui stessi.

#### D. Documentazione

Al completamento della perforazione del pozzo dovranno essere consegnati i seguenti elaborati:

- a) UNA RELAZIONE CONCLUSIVA sulle operazioni eseguite, le attrezzature impiegate, i terreni incontrati, le falde acquifere intercettate e le relative caratteristiche idrogeologiche.
- b) UNA COLONNA STRATIGRAFICA dei terreni attraversati con le indicazioni relative a:
  - numero e ubicazione pozzo;
  - data esecuzione;
  - quota assoluta dal piano campagna;
  - profondità e quota assoluta iniziale e finale di ogni strato di terreno attraversato con le relative caratteristiche litologiche di massima deducibili;
  - diametro della sonda;
  - numero e posizione dei campioni raccolti;
  - ubicazione e livelli statici delle eventuali falde intercettate;
  - eventuali anomalie o difficoltà riscontrate nel corso della perforazione.
- c) UNA RELAZIONE DESCRITTIVA di tutte le operazioni di realizzazione del pozzo contenente tra l'altro:
  - schema definitivo delle tubazioni e dei filtri messi in opera;
  - quantità di ghiaietto installato;
  - quote e quantità di cemento e argilla impiegati per gli isolamenti;
  - modalità esecutive e tempi dello sviluppo del pozzo;
  - modalità esecutive e risultati delle prove di portata.
- d) GRAFICI DELLE PROVE DI PORTATA.

### 3.3. SCAVI ESPLORATIVI DI SUPERFICIE

#### 3.3.1. Prelievo di campioni indisturbati da scavi esplorativi di superficie

##### Generalità

Il prelievo di campioni indisturbati di terreno, in scavi esplorativi di superficie o in pareti di fronti di scavo, dovrà essere eseguito o mediante isolamento in sito di un idoneo volume di materiale o mediante un apposito campionatore a fustella.

Normative e raccomandazioni di riferimento:

- Associazione geotecnica italiana (1977) - "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche".
- CNR-BU n. 25 (1972) - "Campionatura di terre e terreni"

##### A. Attrezzatura

Nel caso di campionamento con fustella il cilindro campionario dovrà avere le seguenti caratteristiche:

- altezza :  $h = 125 \div 200$  mm;
- diametro interno :  $\varnothing_i = 94$  mm;
- spessore delle pareti :  $s = 3$  mm;
- angolo di scarpa :  $\alpha = 60^\circ$ .

In presenza di campionamento mediante isolamento di un blocco di terreno dovrà essere disponibile la seguente attrezzatura:

- attrezzi da scavo (piccone, pala, zappetta);
- attrezzi da taglio (spatole taglienti, filo in acciaio armonico);
- scatola cubica in legno (lato pari a  $25 \div 30$  cm) con maniglie da trasporto; due facce contrapposte devono essere svitabili e riavvitabili in sito con semplice cacciavite.

##### B. Modalità esecutive

Il prelievo dovrà essere eseguito in ogni caso su fronti di scavo freschi dopo avere rimosso lo strato superficiale essiccato, alterato o allentato, previa pulitura senza rimaneggiamento della superficie di prelievo del campione e con l'accortezza di eseguire lo scavo degli ultimi 10 cm a mano.

Al prelievo deve assistere il Geologo responsabile del cantiere e un rappresentante di RFI.

Il cilindro campionario dovrà essere infisso a pressione costante nel terreno senza movimenti di rotazione e/o oscillazione. Al termine dell'infissione il terreno all'intorno del campionario dovrà essere asportato e la fustella dovrà essere staccata delicatamente dal fondo per mezzo di un adeguato utensile (spatola tagliente, filo di acciaio armonico), onde evitare rimaneggiamenti o addensamenti artificiali.

In presenza di terreni coesivi consistenti o in terreni contenenti ciottoli o ghiaia l'infissione della fustella potrà essere favorita con il contemporaneo scavo laterale del terreno all'intorno del campionario.

Le estremità del campionario dovranno essere sigillate mediante uno strato di paraffina fusa e con tappi ermeticamente chiusi con nastro adesivo impermeabile.

Per eseguire il prelievo di un campione in blocco si dovrà approfondire lo scavo fino a circa 70 cm al di sotto della quota o profondità di prelievo e successivamente si dovrà operare secondo la seguente proce-



dura:

- isolare un blocco di dimensioni superiori a quelle prefissate di prelievo (25÷30 cm di lato);
- agendo per strati successivi, dal perimetro verso l'interno, ricavare il blocco delle dimensioni richieste rifinendo con arnesi affilati il blocco stesso;
- paraffinare la superficie del blocco isolato;
- infilare la scatola di legno priva di coperchio e di fondo;
- riempire con paraffina fusa l'intercapedine scatola-campione ed avvitare il coperchio della scatola;
- tagliare alla base il blocco con il filo d'acciaio armonico;
- regolarizzare il campione, paraffinare il lato inferiore del blocco e chiudere la faccia inferiore della scatola.

#### C. Documentazione

A corredo delle operazioni di prelievo dovrà essere compilata una scheda, allegata al campione, che riporterà le seguenti indicazioni:

- data di prelievo;
- cantiere;
- numero ed ubicazione del pozzetto esplorativo o del fronte di scavo;
- numero del campione;
- quota o profondità di prelievo;
- parte alta del campione;
- fotografia a colori del campione e della fustella in posizione di prelievo.

### 3.3.2. Esame geologico-tecnico di terreni entro scavi esplorativi di superficie

#### Generalità

Il rilievo geologico-tecnico di uno scavo esplorativo superficiale deve permettere la ricostruzione stratigrafica del primo sottosuolo interessato dallo scavo stesso con particolare riferimento a:

- spessore e caratteristiche del terreno vegetale o di copertura;
- descrizione stratigrafica dei singoli strati o livelli attraversati e rilievo speditivo delle caratteristiche geotecniche/geomeccaniche.

Normative e raccomandazioni di riferimento:

- Associazione geotecnica italiana (1977) - "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche".

#### A. Modalità esecutive e documentazione

A corredo dell'esame geologico tecnico dello scavo esplorativo dovrà essere consegnata a RFI una stratigrafia di dettaglio dei terreni esplorati completa delle misure geomeccaniche speditive eseguite in sito con l'impiego di strumenti tascabili (penetrometro, scissometro ecc..) e delle indicazioni relative a presenza d'acqua, di vuoti o di altre particolarità di interesse ai fini dell'indagine.

Se lo scopo dello scavo è il riconoscimento di dettaglio dei principali orizzonti pedogenetici dovranno essere eseguite le seguenti determinazioni aggiuntive:

- spessore e colore dei singoli orizzonti;
- presenza di sostanze organiche, di scheletro sabbioso o ghiaioso e di matrice argillosa e limosa;
- valutazione qualitativa della plasticità, del contenuto d'acqua, della capacità di ritenzione idrica, della permeabilità e delle condizioni di drenaggio;
- presenza di incrostazioni calcaree, gessose o ocracee, di patine argillose, di eventuale abbondanza di minerali percepibili visivamente;
- presenza di materiale di riporto;
- tessitura e stato di aggregazione;
- descrizione dell'origine dei suoli.

### 3.4. GEOFISICA

#### 3.4.1. Geoelettrica

#### Sondaggi elettrici verticali (SEV)

##### Generalità

La metodologia consiste nell'immettere nel terreno una corrente elettrica attraverso due elettrodi di corrente AB esterni misurando la differenza di potenziale risultante in due elettrodi interni di tensione MN.

La prospezione mette in evidenza i contrasti di resistività su una medesima verticale in funzione delle caratteristiche fisiche dei materiali incontrati quali ad esempio la porosità, la saturazione in fase fluida, la presenza di minerali disciolti ecc.. .

##### A. Strumentazione

La strumentazione utilizzata, di potenza adeguata in relazione alle misure eseguibili sui massimi stendimenti previsti, dovrà avere caratteristiche tali da permettere l'ottenimento dei migliori risultati possibili.

In particolare l'attrezzatura minima dovrà comprendere:

- georesistivimetro analogico e/o digitale con impedenza di ingresso minima pari a 10 megaohm, sensibilità almeno 0,1 millivolt, circuito di compensazione dei potenziali spontanei; lo strumento utilizzato per la misura dell'intensità di corrente dovrà avere sensibilità di almeno 0,1 milliampere e scala  $1\text{mA} \div 2\text{A}$ ;
- generatore di potenza costituito da gruppo elettrogeno con raddrizzatore di potenza adeguata o con batterie a secco anch'esse di tensione e potenza adeguata;
- cavi elettrici multipolari ad alto isolamento, con specifica guaina di protezione resistente alle azioni di trazione e abrasione;
- elettrodi in acciaio, in rame e impolarizzabili; in particolare gli elettrodi di tensione M ed N dovranno essere in rame e, in terreni particolarmente secchi, dovranno essere immersi in una soluzione saturata di solfato di rame (sensori impolarizzabili);
- radio ricetrasmittenti e/o telefoni per il collegamento in linea.

##### B. Modalità esecutive

Per ciascun sondaggio elettrico verticale (SEV) dovrà essere effettuata preliminarmente una prova di isolamento dei cavi del circuito elettrico.

La prospezione avverrà secondo il dispositivo Schlumberger, Wenner Polo-Dipolo etc.: partendo da una distanza tra gli elettrodi esterni di corrente AB pari a 4 volte la distanza tra gli elettrodi interni MN di tensione, si allontaneranno progressivamente gli elettrodi AB fino a distanza tra gli stessi dell'ordine di 20÷40 MN, effettuando una misurazione per ogni spostamento; quindi si sposteranno anche gli elettrodi MN e si riprenderà un'altra serie di misure sugli elettrodi AB con le medesime modalità; le due ultime misure di ogni serie verranno ripetute anche con gli elettrodi MN allargati per la serie successiva (embrayage su due punti AB/2).

La successione delle distanze tra gli elettrodi AB da adottare per ciascun sondaggio (iniziando con  $AB/2=2\text{ m}$ ) dovrà essere regolare e consentire l'acquisizione di almeno 8-9 punti di misura per ogni decade logaritmica.

La massima apertura degli elettrodi di corrente sarà determinata in funzione della profondità di indagine, considerando la necessità di avere un rapporto tra profondità e apertura degli elettrodi pari a 1/5. In terreni elettricamente conduttivi sarà buona norma considerare rapporti più sfavorevoli (1/6 - 1/8).

Per stendimenti elettrodi più lunghi e comunque in condizioni di scarso rapporto segnale-disturbo dovrà essere previsto uno stacking automatico dei dati in modo tale da garantire una acquisizione del segnale con sensibilità di 10 microvolt.

La lettura agli elettrodi di tensione dovrà essere sufficientemente elevata in rapporto al rumore. La durata del periodo di registrazione deve essere tale da permettere di valutare, senza incertezze, il valore della differenza di potenziale  $\Delta V$ .

Dopo ogni misura e prima di quella successiva, dovrà essere effettuato sul terreno il calcolo della resistività apparente ed il tracciato della curva dovrà essere riportato su opportuni diagrammi in scala bilogarithmica.

Nel caso venissero eseguiti sondaggi meccanici di taratura di sussidio alla prospezione geoelettrica, l'Affidatario è tenuto alla eventuale rielaborazione delle misure sulla base delle suindicate indagini dirette.

L'ubicazione degli stendimenti, la distanza interelettrodi, funzione della profondità esplorabile, e la frequenza delle misure dovranno essere preventivamente approvate da RFI.

L'interpretazione delle curve di campagna dovrà essere eseguita per mezzo di adeguati programmi di elaborazione in grado di restituire:

- ⇒ l'elettrostratigrafia del sottosuolo in termini di spessori e di resistività reale dei singoli elettrostrati;
- ⇒ determinazione dello scarto quadratico medio tra i dati sperimentali e i dati calcolati dal modello di resistività;
- ⇒ limiti di equivalenza della soluzione.

### C. Documentazione

- a) RELAZIONE CONCLUSIVA contenente la descrizione della strumentazione impiegata, delle operazioni eseguite, analisi delle metodologie adottate per il raffronto tra curve teoriche e curve di campagna, con commento dei risultati finali ottenuti;
- b) RAPPRESENTAZIONE PLANOALTIMETRICA degli stendimenti eseguiti indicante anche la posizione dei sondaggi di taratura eventualmente eseguiti;
- c) DIAGRAMMI DI RESISTIVITÀ di tutti i SEV eseguiti;
- d) SEZIONI ELETTRICHE INTERPRETATIVE, in scala appropriata alla necessità di rappresentazione dei dettagli rilevati, recante l'indicazione dei valori di resistività relativi alle varie unità elettrostratigrafiche riscontrate;
- e) COPIA DEI LIBRETTI DI CAMPAGNA.

### **Prospezione geoelettrica per l'esecuzione di profili di resistività**

#### Generalità

La prospezione consiste nel progressivo spostamento lungo una linea definita (o secondo una maglia - in questo caso si parlerà più opportunamente di mappe di resistività) di un quadripolo AMNB, con distanza tra gli elettrodi mantenuta fissa, misurando di volta in volta la resistività dei terreni attraversati.

La prospezione si esegue per determinare contrasti lineari o laterali di resistività dei terreni indagati, corrispondenti a variazioni di materiali o di altre caratteristiche fisiche quali ad esempio la porosità, la saturazione in fase fluida, la presenza di minerali disciolti ecc..

### A. Strumentazione

La strumentazione utilizzata dovrà essere di caratteristiche tali da permettere l'ottenimento dei migliori risultati possibili e di potenza adeguata in relazione alle misure eseguibili sui massimi stendimenti previsti.

In particolare l'attrezzatura minima dovrà comprendere:

- georesistivimetro analogico e/o digitale con impedenza di ingresso minima pari a 10 megaohm, sensibilità di almeno 0,1 millivolt, circuito di compensazione dei potenziali spontanei; lo strumento utilizzato per la misura dell'intensità di corrente dovrà avere sensibilità di almeno 0,1 milliampere e scala  $1\text{mA} \div 2\text{A}$ ;
- generatore di potenza costituito da gruppo elettrogeno con raddrizzatore di potenza adeguata o con batterie a secco anch'esse di tensione e potenza adeguata;
- cavi elettrici multipolari ad alto isolamento, con specifica guaina di protezione resistente alle azioni di trazione e abrasione;
- elettrodi in acciaio, in rame e impolarizzabili; in particolare gli elettrodi di tensione M ed N dovranno essere in rame e, in terreni particolarmente secchi, dovranno essere immersi in una soluzione satura di solfato di rame (elettrodi impolarizzabili);
- radio ricetrasmittenti e/o telefoni per il collegamento in linea.

### B. Modalità esecutive

Si potranno utilizzare indifferentemente dispositivi elettrodi di Wenner, di Schlumberger, polo-polo, polo-dipolo e dipolo-dipolo e in contesti particolari si potranno utilizzare configurazione elettrodi dipolo-dipolo. Preliminarmente all'esecuzione della campagna di prospezione geoelettrica dovrà essere effettuata una prova di isolamento dei cavi del circuito elettrico.

La distanza interelettrodi, funzione della profondità esplorata, e la frequenza delle misure dovranno essere preventivamente approvate da RFI. La lettura agli elettrodi di tensione dovrà essere sufficientemente elevata in rapporto al rumore; in condizioni di scarso rapporto segnale-disturbo dovrà essere previsto uno stacking automatico dei dati in modo tale da garantire una acquisizione del segnale con sensibilità di 10 microvolt. La durata del periodo di registrazione dovrà essere tale da permettere di valutare, senza incertezze, il valore della differenza di potenziale  $\Delta V$ .

La determinazione della distanza interelettrodi sarà determinata sulla base di alcuni sondaggi elettrici verticali. Fissata questa si effettueranno le misure di resistività spostando ogni volta sui punti prestabiliti il quadripolo mantenendo costante la distanza interelettrodi.

### C. Documentazione

- a) RELAZIONE CONCLUSIVA contenente la descrizione della strumentazione impiegata, delle operazioni eseguite, con commento e interpretazione dei dati acquisiti e delle anomalie riscontrate eventualmente tarate sulla base di sondaggi;
- b) CARTA CON L'UBICAZIONE PLANIMETRICA dei punti di misura e dei sondaggi di taratura eventualmente eseguiti;
- c) PROFILI DI RESISTIVITÀ in scala adeguata all'estensione dell'indagine e ai dettagli riscontrati;
- d) CARTA DI RESISTIVITÀ in scala adeguata;
- e) COPIA DEI LIBRETTI DI CAMPAGNA.

### **Prospezione geoelettrica con metodologia tomografica**

### Generalità

La prospezione geofisica consiste nel progressivo spostamento lungo una linea definita (o secondo una maglia) di un quadripolo AMNB, misurando di volta in volta la resistività dei terreni attraversati.

La prova dovrà essere adatta a determinare contrasti lineari o laterali di resistività, corrispondenti a variazioni di materiali o di altre caratteristiche fisiche (densità, zone d'acqua ecc..).

La metodologia tomografica consiste nell'assegnare una determinata posizione ad uno dei due poli e nell'allontanare l'altro progressivamente lungo il profilo per quantità lineari fisse. Il risultato sarà la misura della resistività apparente dei punti di intersezione delle linee a 45° originate dai centri dei due dipoli (dipositivo dipolo-dipolo).

L'elaborazione tomografica consisterà nel tracciamento di isolinee di resistività con fasce cromatiche differenziate (pseudosezioni di resistività), interpretando con appositi programmi di calcolo la sezione di resistività reale del sottosuolo a partire dalla distribuzione di resistività apparente.

### A. Strumentazione

La strumentazione utilizzata, di potenza adeguata in relazione alle misure da eseguire sui massimi stendimenti previsti, dovrà avere caratteristiche tali da permettere l'ottenimento dei migliori risultati possibili.

In particolare l'attrezzatura minima dovrà comprendere:

- Un dispositivo multielettrodico con almeno 32 elettrodi e una unità di acquisizione dati caratterizzata da un georesistivometro digitale con impedenza di ingresso minima di 10 megaohm, sensibilità almeno di 0,1 millivolt, circuito di compensazione dei potenziali spontanei; possibilmente lo strumento dovrà controllare l'erogazione di corrente con accuratezza nella misura dell'intensità di corrente inferiore al 1 % del valore immesso;
- Generatore di potenza costituito da un gruppo elettrogeno con raddrizzatore di potenza adeguata o con batterie a secco anch'esse di tensione e potenza adeguata;
- Cavi elettrici multipolari ad alto isolamento con guaina specifica di protezione resistente alle azioni di trazione e abrasione;
- Elettrodi in acciaio, rame;
- Radio ricetrasmittenti e/o telefoni per collegamento in linea.

### B. Modalità esecutive

Il metodo geoelettrico si basa sulla misura tra due elettrodi (detti convenzionalmente **MN**) della differenza di potenziale  $\Delta V$  connessa alla distribuzione nel sottosuolo di una corrente elettrica **I** immessa in una diversa coppia di elettrodi, detti **AB**. Si dimostra che si ottiene un valore di resistività apparente:

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I}$$

che è funzione, oltre che della posizione reciproca dei 4 elettrodi anzidetti (dipendenza contenuta nel parametro **K**, detto fattore geometrico), della distribuzione della resistività elettrica delle rocce nel sottosuolo interessato dalla propagazione della corrente **I**.

I dati così acquisiti devono essere "interpretati" per ottenere, dall'insieme dei valori di  $\rho_a$  (resistività apparente), un modello dell'effettiva distribuzione delle resistività elettriche reali nel sottosuolo indagato. Da questa distribuzione, con opportune tarature e/o in base alle conoscenze geologiche del sottosuolo, il modello geofisico viene trasformato in modello geo-litologico.

Si potranno utilizzare indifferentemente dispositivi elettrodi di Wenner o di Schlumberger o in casi particolari dispositivi dipolo-dipolo e polo-dipolo.

Nel dispositivo Wenner lo spazio tra gli elettrodi è costante:

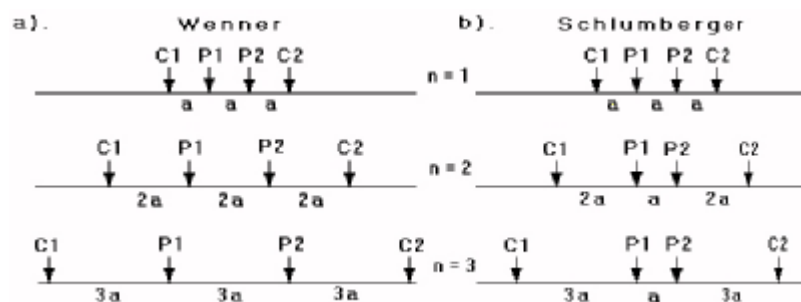
$$AM = MN = NB = a$$

per cui il fattore geometrico K è dato da:

$$K = 2a\pi$$

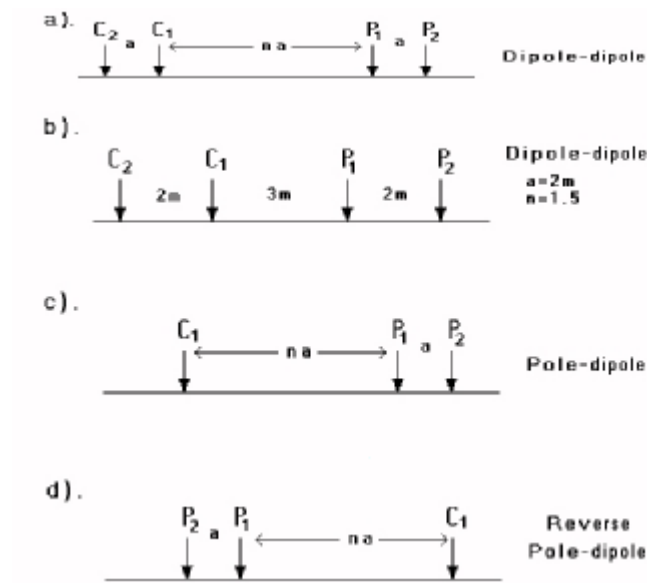
Lo schema di misura di una tomografia elettrica effettuata con il dispositivo Wenner prevede, l'esecuzione di misure effettuate traslando i quattro elettrodi e mantenendo la spaziatura **a** costante. Quando sono terminate le misure su tutti i picchetti si riparte dall'inizio portando la spaziatura ad un valore **2a** nella seconda serie, a **3a** nella terza e così via, fino ad aver effettuato tutte le misure possibili. Più si allarga la spaziatura **a** più si indagano porzioni profonde di terreno. Lo stendimento Wenner ha una maggiore sensibilità nella porzione di terreno che si trova tra gli elettrodi AM ed NB. C'è una maggior sensibilità alle variazioni verticali di resistività e minore per quanto riguarda le variazioni orizzontali. Se confrontato con gli altri stendimenti, il Wenner ha una profondità di indagine minore, ma una maggiore intensità di segnale e risulta di più facile interpretazione.

Nel dispositivo Schlumberger lo spazio tra gli elettrodi di potenziale è costante, mentre varia la distanza tra gli elettrodi di corrente (C1 e C2 dello schema sottostante). Tale metodo risente maggiormente dei disturbi elettrici del terreno ma consente di raggiungere profondità superiori rispetto alla configurazione di Wenner. In accoppiamento con il metodo Wenner (acquisizione simultanea) consente di ottenere risultati ottimali per stabilità di misura e profondità di indagine.



Nel dispositivo Dipolo-Dipolo i due elettrodi di corrente hanno spaziatura costante (C1 e C2) e sono esterni agli elettrodi di potenziale (P1 e P2). Il dispositivo dipolo-dipolo consente di raggiungere profondità superiori al dispositivo Schlumberger, con maggior densità di quadripoli di misura. Tuttavia, per piccole spaziature, il metodo può risentire di forti disturbi per la vicinanza degli elettrodi di corrente (polarizzazione degli elettrodi)

Esistono numerose altre configurazioni (polo-dipolo, polo-polo, ecc) con posizionamento di elettrodi di corrente esterni alla configurazione multipolare e possono essere utili per il raggiungimento di profondità superiori alle configurazioni convenzionali.



Preliminarmente all'esecuzione della campagna di prospezione geoelettrica dovrà essere effettuata una prova di isolamento dei cavi del circuito elettrico.

La distanza interelettrodica, funzione della profondità da esplorare, e la frequenza delle misure dovranno essere preventivamente approvate da RFI. La lettura agli elettrodi di tensione dovrà essere sufficientemente elevata in rapporto al rumore di fondo; in condizioni di scarso rapporto segnale /disturbo dovrà essere previsto uno stacking automatico dei dati in modo tale da garantire una acquisizione del segnale con sensibilità di 10 microvolt.

La durata del periodo di registrazione dovrà essere tale da permettere la valutazione, senza incertezze, del valore della differenza di potenziale ( $\Delta V$ ).

La determinazione della distanza interelettrodica sarà definita sulla base delle profondità da raggiungere e delle dimensioni dell'obiettivo di indagine. Per incrementare il dettaglio della misura si farà ricorso a tecniche di sovrapposizione di linee consecutive (roll-along).

### C. Documentazione

Al termine delle prestazioni dovrà essere presentata la seguente documentazione :

- RELAZIONE CONCLUSIVA contenente la descrizione della strumentazione impiegata, delle operazioni eseguite, con commento ed interpretazione dei dati acquisiti e delle anomalie riscontrate eventualmente tarate sulla base di sondaggi meccanici o altre prove geofisiche eseguite ;
- CARTA CON L'UBICAZIONE PLANIMETRICA dei punti di misura e dei sondaggi di taratura eseguiti, in scala da concordare con RFI;
- SEZIONI DI RESISTIVITA' APPARENTE in scala adeguata all'estensione dell'indagine ed ai dettagli riscontrati e comunque da concordare preventivamente con RFI;
- SEZIONE TOMOGRAFICA in scala adeguata con i punti di misura, scala cromatica di riferimento (ohm-m) e relativa legenda orizzontale interpretativa contenente:
  - valori medi della resistività apparente e reale (SEV) misurata ;
  - analisi in termini di presenza di strutture tipo contatti litologici, tettonici, livelli acquiferi.



- e) COPIA DEI LIBRETTI DI CAMPAGNA.

### **Carotaggio elettrico in foro**

#### Generalità

La prova viene eseguita con idonea attrezzatura all'interno di fori di sondaggio non rivestiti riempiti di fluido elettricamente conduttivo (acqua o fango), onde poter ottenere un log di resistività lungo una verticale corrispondente all'immediato intorno del foro di sondaggio.

#### A. Strumentazione

E' costituita essenzialmente da una sorgente elettrica, un amperometro, un voltmetro e 4 elettrodi di cui due (A e B) di corrente e due (M e N) di tensione.

#### B. Modalità esecutive

La necessità di avere il foro di sondaggio non rivestito impone cautele particolari in fase di esecuzione e nella scelta del liquido di circolazione e sostentamento delle pareti del foro stesso.

La corrente viene generata tra l'elettrodo B, situato alla bocca del foro, e l'elettrodo A, calato all'interno del foro stesso; tra gli elettrodi M e N invece si misura la tensione risultante. A seconda della distanza tra gli elettrodi A e M si possono avere diverse configurazioni: normale-corta ( $AM = 0,25\div 0,50$  m) per indagini attorno al foro fino a 1 m, normale-lunga ( $AM = 0,50\div 2,00$  m) per indagini fino a 4 m, laterale ( $AM = 4,00\div 10,0$  m) per indagini fino a 10 m.

Le letture dei valori di resistività lungo il foro dovranno essere continue e tali da consentire, in rapporto alla configurazione adottata, l'evidenziazione anche di sottili livelli conduttori intercalati (normale-corta) o la natura dell'acqua di falda (normale-lunga o laterale).

La distanza tra gli elettrodi e la configurazione di lavoro dovrà essere preventivamente approvata da RFI.

#### C. Documentazione

- a) RELAZIONE CONCLUSIVA dell'attrezzatura e delle metodologie adottate, con commento ed interpretazione dei dati ottenuti;
- b) DIAGRAFIA DEL CAROTAGGIO EFFETTUATO;
- c) COPIA DEI LIBRETTI DI CAMPAGNA.

### 3.4.2. Gravimetria

#### Rilievo geofisico con metodo gravimetrico

##### Generalità

La gravimetria è una tecnica geofisica che misura l'entità di variazione dell'accelerazione di gravità da un punto all'altro dovuta a variazioni laterali di densità nel sottosuolo.

Possono eseguirsi misurazioni su punti allineati (profili microgravimetrici) o su punti disposti a maglia (reti microgravimetriche). I valori ottenuti sono funzione della densità e quindi della natura dei materiali ma anche del grado di fratturazione, compattezza, ecc.

##### A. Strumentazione

Si utilizzeranno unicamente gravimetri di tipo Lacoste-Romberg Modello D ad alta precisione e di caratteristiche idonee allo scopo dell'indagine, con una sensibilità dell'ordine di circa  $1 \div 5 \mu\text{gal}$ .

##### B. Modalità esecutive

Le misure microgravimetriche sono di tipo relativo in quanto vengono riferite ad una stazione base (da determinare) che viene scelta all'inizio dell'indagine ed utilizzata come punto di riferimento per gli altri punti di misura oltre che per monitorare le variazioni dovute all'effetto della marea terrestre e della deriva dello strumento. Per questo motivo la stazione base sarà rioccupata una volta ogni 90 minuti circa.

L'indagine viene effettuata su una maglia predefinita o lungo dei profili

L'ubicazione e la densità dei punti di misura dovranno essere in funzione della profondità d'indagine e del dettaglio richiesto e preventivamente approvati da RFI: generalmente si assumerà per essi una distanza compresa tra 5 e 20 m.

Ogni punto, materializzato da un picchetto, verrà posizionato topograficamente (per rilievi microgravimetrici occorre una tolleranza di 2-3 cm per le quote e 0,2 m per la posizione planimetrica) e riferito ad una poligonale di base chiusa. Inoltre dovranno stabilirsi uno o più capisaldi per la correzione della deriva strumentale.

Nei profili microgravimetrici la misura di ogni singolo punto dovrà essere ripetuta almeno due volte in momenti diversi della giornata (con approssimazioni medie delle letture contenute in  $\pm 5$  microgal), mentre la misura ai capisaldi per la correzione della deriva strumentale andrà eseguita almeno ogni due ore: nel caso si misuri un valore di deriva anomalo o una discrepanza superiore ai 100 microgal, l'intero rilievo compreso tra le ultime due misurazioni di deriva andrà rifatto.

Nel caso di rilievi che si protraggono per più giorni, ogni giorno successivo si dovrà ripetere il rilievo sul 10% della stazioni misurate il giorno precedente.

Le misure gravimetriche andranno eseguite anche su una fascia all'esterno dell'area propriamente di indagine, e di larghezza almeno doppia rispetto alla presunta profondità di indagine, con lo scopo di ottenere carte delle isoanomalie di Bouguer per le correzioni delle anomalie regionali: in questa fascia le misure saranno in numero di 4÷6 per ettaro.

Inoltre in una zona comprendente anche una ulteriore fascia di 100÷150 m dovrà eseguirsi un ulteriore rilievo planoaltimetrico (densità media 20 punti per ettaro, precisione  $\pm 0,1$  m per le quote e  $\pm 0,5$  m per la posizione planoaltimetrica) con lo scopo di ottenere, unitamente ai dati ricavabili dalla cartografia ufficiale regionale e IGM, i valori necessari per la correzione dell'anomalia topografica. I risultati ottenuti, previa le necessarie correzioni (deriva, marea luni-solare, latitudine, Faye, Bouguer, topografica, regionale), saranno riportati su di un profilo microgravimetrico a scala opportuna.

Nelle reti microgravimetriche, fermo restando tutte le altre considerazioni espresse per i profili, il collega-



mento fra due punti dovrà essere realizzato eseguendo la misura alternativamente sui due punti almeno quattro volte avanti-indietro. I risultati ottenuti, opportunamente mediati fra loro, dovranno essere restituiti elaborando una carta gravimetrica dell'area indagata, in scala opportuna, previe le correzioni delle stesse anomalie dei profili.

#### C. Documentazione

- a) RELAZIONE CONCLUSIVA con indicazione della strumentazione impiegata e delle operazioni eseguite con commento ed interpretazione dei risultati;
- b) PROFILO MICROGRAVIMETRICO O CARTA GRAVIMETRICA;
- c) CARTA DELLE ISOANOMALIE nel caso di rilievo di più profili;
- d) COPIA DEI LIBRETTI DI CAMPAGNA.

### 3.4.3. Georadar

#### Rilievo elettromagnetico con metodo radar

##### Generalità

La metodologia consiste nell'invio di impulsi elettromagnetici sul materiale da esaminare, ricevendone le riflessioni che si verificano in corrispondenza delle variazioni delle caratteristiche elettromagnetiche del materiale stesso. La risoluzione e la profondità di indagine sono funzione delle caratteristiche fisiche dei mezzi attraversati, della frequenza delle onde irradiate dall'antenna e della potenza del trasmettitore. Le maggiori profondità di indagine si ottengono adottando antenne radar a basse frequenze mentre antenne ad alta frequenza permettono una maggiore risoluzione verticale.

Il metodo risulta adatto per individuare forti contrasti quali: spessori rivestimenti, cavità, metalli, ecc.

##### A. Strumentazione

L'attrezzatura di base comprende una unità centrale di comando, controllo ed amplificazione, un registratore magnetico digitale ed, in funzione della finalità delle indagini, antenne con frequenza compresa tra 80 e 1500 MHz.

Dovranno essere disponibili appositi software necessari per l'analisi ed il trattamento dei segnali registrati (filtrazione, correzione, valutazione di velocità di propagazione, correlazione ecc..).

##### B. Modalità esecutive

I rilievi vengono eseguiti normalmente lungo profili. Le antenne possono operare in configurazione "monostatica" (stessa antenna radar che funziona come trasmittente e ricevente tramite un commutatore) o "bistatica" (antenne differenti che funzionano rispettivamente da trasmittente e da ricevente). La seconda configurazione sarà utile per la stima delle velocità di propagazione per profondità definite o quando si vorranno indagare livelli più profondi utilizzando le alte frequenze o per obiettivi mirati, perdendo tuttavia informazioni sui livelli superficiali la cui risoluzione è funzione della distanza fra i due componenti dell'antenna.

L'ubicazione dei profili, la densità della maglia, il tipo e la configurazione delle antenne dovranno essere commisurati al tipo di materiale indagato, alla profondità di indagine e di dettaglio richiesto, e dovranno essere preventivamente approvati da RFI.

Compatibilmente al tipo di superficie da indagare dovrà essere garantita una buona linearità del piano di lavoro, cercando preventivamente di eliminare, se possibile, asperità od oggetti metallici che possono produrre interferenze.

Nel caso di mancanza di riferimenti fissi, il rilievo dovrà essere riferito a dei punti di riferimento posizionati esternamente al profilo e/o alle maglie (tolleranza 0,1 m per le quote e 0,2 m per la posizione planimetrica).

Preliminarmente all'esecuzione della prospezione dovrà essere indagato, per la taratura delle apparecchiature, un breve tratto campione sul quale verranno utilizzate tutte le possibili tecniche ed attrezzature per il successivo rilievo (velocità di passaggio, distanza sorgente-struttura, frequenza di emissione dell'antenna, ecc.) per determinare la tecnica ottimale in relazione agli obiettivi dell'indagine. Sono comunque opportuni uno o più sondaggi di taratura.

##### C. Documentazione

- a) RELAZIONE CONCLUSIVA con le indicazioni delle attrezzature impiegate e dei criteri di elaborazione adottati; tale relazione dovrà inoltre mettere in evidenza le caratteristiche dei materiali e la



RETE FERROVIARIA ITALIANA

MANUALE DI PROGETTAZIONE  
GEOLOGIA

MANUALE DI PROGETTAZIONE

Codifica: RFI DINIC MA GE 00 001 B

FOGLIO  
53 di 162

stratigrafia dei terreni investigati, il contatto terreno-struttura, la presenza di acque, fratture, cavità locali ecc..;

- b) RAPPRESENTAZIONE PLANOALTIMETRICA in scala adeguata dei profili eseguiti e delle anomalie riscontrate e, nel caso di indagine su muratura o su opere, l'indicazione continua degli spessori riscontrati;
- c) RADARGRAMMI.

#### 3.4.4. Geosismica

##### Prospezione con metodo sismico a rifrazione

###### Generalità

Il metodo di prospezione sismica a rifrazione misura la velocità di propagazione delle onde sismiche nell'ammasso roccioso mediante allineamenti isolati o consecutivi di geofoni e registrazioni multiple delle onde di compressione e di taglio per ciascun stendimento.

###### A. Attrezzatura

La strumentazione di acquisizione dati deve essere di tipo digitale incrementale con le seguenti caratteristiche:

- capacità di campionamento di 0,05 - 0,1 - 0,2 - 0,5 msec;
- mille o più punti di campionamento per traccia sismica;
- 24 canali di registrazione;
- geofoni verticali con frequenza propria variabile tra 8 e 40 Hz per il rilievo delle onde di compressione;
- geofoni orizzontali con frequenza propria variabile tra 6 e 12 Hz per il rilievo delle onde di taglio;
- sistema di comunicazione e di trasmissione del "tempo zero" (time-break).

Il sismografo dovrà, inoltre, presentare la possibilità di stack degli impulsi sismici, filtri analogici e digitali programmabili (filtri attivi tipo high pass, band pass e band reject), guadagno verticale del segnale (in ampiezza) e sensibilità tra 6 e 99 decibel, registrazione dei dati in digitale per elaborazioni successive con formato in uscita non inferiore a 16 bit.

L'energizzazione, necessaria a generare le onde sismiche, potrà essere effettuata tramite:

- cariche di esplosivo (velocità di detonazione > 5000 m/sec; alta densità di carica);
- fucile o cannoncino sismico (in genere calibro 8 con proiettili da almeno 80 gr) in grado di fornire una velocità alla bocca  $\geq 400$  m/sec;
- apparato ad impatto di tipo meccanico, elettropneumatico o ad aria compressa (in grado di sviluppare almeno 1000 kgm per registrazioni a distanze superiori a 500 m);
- massa battente (mazza da 10 kg) agente su un blocco adeguatamente ancorato al terreno (rilievo delle onde di taglio).

###### B. Modalità esecutive ed elaborazione dei dati

Ove non si disponga di adeguata cartografia di base che permetta una precisa ubicazione di tutti i punti di stazione (geofoni e punti di energizzazione), si dovrà ricorrere ad un rilievo planoaltimetrico, con precisione di  $\pm 0,5$  cm, da riferirsi a capisaldi topografici chiaramente individuati sul terreno e riportati sulla carta topografica.

Il rilievo sismico dovrà essere eseguito lungo profili rettilinei con geofoni posti ad interdistanza fissa in relazione alla profondità di indagine ed al dettaglio di rilievo richiesto da RFI.

In linea generale per ogni stendimento la profondità massima raggiunta dalla prospezione sismica è funzione sia delle velocità sismiche dei singoli strati sia della lunghezza dei tiri sismici.

Indicativamente la profondità massima indagata è circa  $1/4 \div 1/5$  della lunghezza dei tiri sismici e per ot-

tenere dei risultati ottimali occorre mantenere l'obiettivo della ricerca entro i 2/3 della profondità massima.

Tale indicazione è adeguata sia per l'elaborazione sismica di tipo ordinario che tomografica.

La spaziatura delle stazioni geofoniche è funzione del dettaglio che si vuole ottenere in particolare nella sismica tomografica.

Indicativamente la spaziatura può variare tra 1/4 ed 1/5 la profondità del target [ad es. target a 10 m = spaziatura 10/4(5)=2.5(2.0) m oppure target a 100 m = spaziatura 100/4(5) = 25(20) m].

Per la sismica con l'elaborazione ordinaria, visto che la sua metodologia matematica comunque non permette di ottenere un incremento di dettaglio vertico-laterale anche variando significativamente i parametri geometrici di acquisizione (geometria stazioni e densità degli shot) normalmente si consiglia spaziature di 1/2÷1/3 della profondità del target (es. spaziature di 5 m per indagini entro i 10 m, spaziature di 10 m per indagini entro i 20-50 m e spaziature di 20 m per indagini entro i 100 m).

In entrambi i casi (sismica tomografica o ordinaria) si consiglia di non superare mai la spaziatura di 20 m in quanto si inficerebbe l'analisi della porzione superficiale (copertura allentata) la quale può determinare importanti variazioni sia dei parametri elastici del sottosuolo sia degli orizzonti se la sua determinazione è errata.

Per ciascun stendimento, costituito preferibilmente da un minimo di 24 geofoni dovranno, essere effettuate almeno cinque (5) registrazioni da altrettanti punti di energizzazione.

Dei suddetti tiri tre (3) saranno posizionati all'interno della base (due alle estremità ed una al centro) in posizione equidistante e due (2) saranno ubicati all'esterno della stesa a distanza tale da garantire la profondità di indagine richiesta.

Nel caso in cui i tiri siano pari a sette (7) per ciascuna base sismica, cinque (5) dovranno essere interni e due (2) esterni.

L'elaborazione dei dati, attraverso l'esame dei valori registrati in corrispondenza di ciascuna stazione geofonica, dovrà consentire la definizione dei singoli rifrattori o strati sismici individuati in termini sia di spessore che di velocità delle onde sismiche (longitudinali e/o trasversali).

L'elaborazione si potrà basare su metodi diversi quali il metodo Plus-Minus, di Gardner (tempi intercetti), G.R.M. (Generalized Reciprocal Method); la scelta di ciascun metodo di interpretazione dovrà essere operata tenendo in debito conto la geometria del sottosuolo investigato e le problematiche di indagine.

A richiesta di RFI, i dati rilevati potranno essere analizzati con modellazione anisotropica del sottosuolo utilizzando metodologie iterative di tipo R.T.C. (Ray Tracing curvilinear) e algoritmi di ricostruzione tomografica tipo ART (Algebraic Reconstruction Technique), SIRT (Simultaneous Iterative Reconstruction Technique), ILST (Iterative Last Square Technique); il campo di velocità nel sottosuolo sarà discretizzato in celle unitarie, di forma rettangolare, le cui dimensioni orizzontali e verticali (assi x e z) dovranno essere pari rispettivamente a 1/3÷1/5 e 1/5÷1/10 della spaziatura tra i geofoni.

A richiesta di RFI, i dati rilevati dovranno essere analizzati anche in termini di attenuazione anelastica degli impulsi sismici attraverso la determinazione del fattore qualità Q.

Il fattore qualità Q è correlato al coefficiente di attenuazione attraverso la seguente relazione:

$$\frac{1}{Q} = \frac{\alpha \cdot V_p}{\pi \cdot f}$$

con

$\alpha$  = coefficiente di attenuazione

$V_p$  = velocità delle onde di compressione

f = frequenza dominante dell'analisi

Il coefficiente di attenuazione esprime l'entità del fenomeno di assorbimento dell'energia sismica in rela-

zione allo specifico divario rispetto alla condizione di perfetta elasticità nei diversi materiali in cui l'onda sismica si propaga.

A seguito dell'attenuazione le componenti ad alta frequenza degli impulsi sismici si estinguono più rapidamente di quelli a bassa frequenza; la misura di  $1/Q$ , proporzionale alla frazione di perdita dell'energia per ciclo d'onda sinusoidale, contribuisce a fornire informazioni sulle caratteristiche del mezzo attraversato (frequenza di fratturazione, grado di saturazione etc...).

I processi fondamentali di analisi per la misura dell'attenuazione dovranno seguire le seguenti procedure:

- analisi del rapporto spettrale delle ampiezze variabili nelle diverse componenti di frequenza dell'impulso microsismico ed assorbite in vario grado in funzione della distanza;
- analisi del decadimento d'ampiezza dei primi eventi o di quelli successivi in ragione della distanza e successiva rettificazione della valutazione per compensare la diminuzione dovuta alla geometria di propagazione;
- valutazione delle variazioni di larghezza dell'impulso sismico (pulse width time) in relazione alla distanza; la misura deve essere effettuata sul primo quarto di ciclo del primo evento.

### C. Documentazione

A corredo della prospezione dovranno essere consegnati i seguenti elaborati:

- a) RELAZIONE CONCLUSIVA in cui siano dettagliatamente descritte le operazioni eseguite, i criteri di calcolo e di interpretazione adottati, nonché una sintesi dei risultati ottenuti;
- b) CARTOGRAFIA in scala 1:5000 (o 1:2000) con l'esatta ubicazione degli stendimenti effettuati;
- c) LIBRETTI DI CAMPAGNA dei rilievi topografici, se effettuati, e sismogrammi in originale rilegati in fascicolo con le necessarie indicazioni per la loro esatta individuazione sulla cartografia;
- d) DIAGRAMMI "DISTANZE/TEMPI RIFRATTI" (DROMOCRONE), rappresentati con la stessa sequenza e continuità degli stendimenti effettuati, corredati degli eventuali passaggi intermedi dell'elaborazione;
- e) SEZIONI SISMOSTRATIGRAFICHE alla scala che verrà stabilita da RFI, che dovrà risultare adeguata a rappresentare tutti i dettagli emersi dall'elaborazione. Dette sezioni dovranno riportare tutte le indicazioni parametriche dei singoli rifrattori individuati e, in proiezione, la posizione di eventuali sondaggi.

## **Prospezione con metodo sismico a riflessione**

### Generalità

Con tale metodo geofisico vengono rilevate le caratteristiche sismiche e geostrutturali degli ammassi mediante allineamenti isolati e consecutivi di geofoni e registrazioni multiple delle onde di pressione per ciascun stendimento di misura.

### A. Attrezzatura

La strumentazione di acquisizione dati deve essere del tipo digitale con amplificatore a virgola mobile istantanea con le seguenti caratteristiche:

- sismografo con minimo 24 canali di registrazione e possibilità di campionatura dei segnali tra 0,025 e 2 msec;
- geofoni con frequenza propria variabile tra 30 e 100 Hz in funzione della profondità dell'obiettivo e



della risoluzione verticale richiesta.

Il sistema digitale di acquisizione dati, inoltre, dovrà essere dotato di filtri High Pass, Band Pass e Band Reject, di Automatic Gain Control e di convertitore A/D del segnale campionato, almeno a 16 bit.

L'energizzazione sismica del terreno dovrà essere fornita da:

- mini cariche esplosive poste a piccola profondità. La quantità di esplosivo da impiegare deve essere determinata attraverso prove necessarie all'ottimizzazione del rapporto segnale/disturbo;
- massa battente in grado di sviluppare almeno 1000 kgm;
- fucile o cannoncino sismico;
- sistemi vibranti costituiti da una massa poggiata al suolo alla quale si imprinono vibrazioni a frequenza nota e prefissata, con possibilità di variazione della frequenza stessa.

#### B. Modalità esecutive

Il rilievo sismico a riflessione dovrà essere eseguito per mezzo di stese lineari con geofoni posti ad intervalli regolari scelti in relazione alla profondità dell'obiettivo da raggiungere.

I punti di origine dell'energia dovranno essere ubicati o nel centro di simmetria del gruppo di registrazione (metodologia "Split Spread") oppure ad un estremo dello stendimento (metodologia "End On") o infine in posizione distanziata dai due punti precedenti fino ad un massimo di 30-50 metri dalla stesa ed in direzione ortogonale alla stesa stessa.

La geometria della prospezione è legata alla profondità dell'obiettivo (target).

Normalmente la spaziatura ottimale è da considerarsi  $1/40 \div 1/50$  della profondità del target [ad es. target a 100 m = spaziatura  $100/40(50) = 2,5(2,0)$  m] per una copertura del 2400% (cioè shot su tutte le stazioni e registrazione su 48 canali) oppure la metà cioè  $1/20 \div 1/25$  per una copertura del 1200% (cioè shot su tutte le stazioni e registrazione su 24 canali).

E' importante conoscere la tipologia del target e dei litotipi indagati per desumerne le caratteristiche di risposta acustica ed in particolare il coefficiente di riflessione (rapporto tra le velocità sismiche tra i vari orizzonti) dal quale ricavare indirettamente il grado di copertura (se il valore è molto basso conviene registrare con coperture molto alte, 2400% o più, se invece è elevato, ad esempio target costituito dal contatto tra detrito e calcari, può essere sufficiente una copertura più bassa, ad esempio 1200%).

L'insieme dei dati acquisiti dovrà essere elaborato organicamente per mezzo di adeguato software che permetta un'ampia possibilità di operazioni di trattamento quali almeno:

- correzioni statiche;
- muting;
- analisi spettrale;
- filtraggi sia nel dominio dei tempi che in quello delle frequenze, con filtri variabili;
- FK filter sia in velocità che polinomiali;
- analisi di velocità (Normal Move Out);
- deconvoluzione;
- stacking;
- correzioni statiche residue;
- migrazione.

Ove non si disponga di una cartografia di base che garantisca la necessaria precisione, si dovrà ricorrere ad un rilievo planoaltimetrico della linea sismica.

Il rilievo dovrà essere appoggiato, per ciascun vertice della linea sismica, ad almeno quattro punti trigo-

nometrici o ad altrettanti punti inequivocabilmente rappresentati e riconoscibili sulla cartografia di base. In questo secondo caso, i singoli punti di appoggio dovranno essere collegati tra loro mediante trilaterazione.

### C. Documentazione

A corredo della prospezione dovranno essere consegnati i seguenti elaborati:

- a) SISMOSEZIONI in ordinate di tempi atte a configurare qualitativamente le situazioni geotettoniche primarie;
- b) SEZIONI SISMOSTRATIGRAFICHE in ordinate di profondità integrate con le indicazioni dei valori relativi ai parametri elastici dei terreni indagati;
- c) RELAZIONE CONCLUSIVA delle attrezzature impiegate, delle operazioni eseguite e dei criteri di calcolo e di elaborazione adottati, integrata da note di commento ed interpretazione delle principali informazioni ottenute sui terreni indagati.

### **Prospezione con tecnica Down-Hole**

#### Generalità

La prospezione sismica Down-Hole misura la velocità di propagazione delle onde sismiche di compressione ( $V_p$ ) e di taglio ( $V_s$ ) nei terreni all'intorno di un foro di sondaggio. Le misure si eseguono attraverso il rilievo dei tempi di percorrenza di impulsi sismici da una sorgente emettitrice, posta in superficie, ad una unità ricevente ubicata all'interno del foro di sondaggio, rivestito con idonea tubazione in PVC o ABS.

Normative e raccomandazioni di riferimento:

- ISRM - "Suggested methods for seismic testing within and between boreholes", 1988

#### A. Attrezzatura

Il sistema di energizzazione, di tipo esplosivo o meccanico, sarà ubicato in superficie a distanza adeguata dalla bocca foro in funzione della migliore risoluzione dell'indagine.

L'Affidatario dovrà dimensionare correttamente la sorgente in funzione della natura e delle caratteristiche dei terreni interessati e che sono da considerarsi noti in quanto le misure sono successive alla perforazione dei sondaggi entro i quali si eseguono le stesse.

Per il rilievo delle onde trasversali la sorgente di energia dovrà garantire la produzione di impulsi sismici idonei a generare onde a prevalente componente di taglio.

La strumentazione di acquisizione dati deve essere di tipo digitale incrementale con le seguenti caratteristiche:

- sismografo registratore ad almeno 12 canali con capacità di campionamento dei segnali tra 0,025 e 2 msec;
- geofono tridirezionale con sensori ortogonali (di cui uno verticale e gli altri due orizzontali a 90° dal primo) collegati ad un cavo metrato di sospensione; la frequenza del geofono deve essere minore della metà della frequenza predominante delle onde sismiche generate;
- sistema di comunicazione e di trasmissione del "tempo zero" (time break).

Il sistema digitale di acquisizione dati dovrà essere dotato di filtri High Pass, Band Pass e Band Reject, di "Automatic Gain Control" e di convertitore A/D del segnale campionato, almeno a 16 bit.

### B. Operazioni preliminari all'esecuzione della prova Down-Hole

L'esecuzione della prova Down-Hole richiede la predisposizione di un foro di sondaggio di diametro sufficiente a permettere l'installazione nel foro di un tubo in PVC munito dei necessari complementi per eseguire la cementazione dello stesso da fondo foro verso la superficie.

Durante la perforazione si dovrà avere particolare cura ad evitare rifluimenti in colonna e decompressioni del terreno nell'intorno del foro; l'eventuale rivestimento del foro dovrà essere estratto a trazione, senza rotazione della colonna.

In cantiere, prima dell'installazione del tubo in PVC o ABS, si dovrà provvedere a:

- a) controllare che i tubi non presentino lesioni o schiacciamenti dovuti al trasporto con particolare riferimento alle parti terminali;
- b) controllare che le estremità dei tubi non presentino irregolarità che possano compromettere il loro buon accoppiamento;
- c) verificare l'efficienza del tubo per l'iniezione della miscela di cementazione da applicare all'esterno della colonna;
- d) controllare e preparare i componenti per la realizzazione della miscela di cementazione che sarà composta da acqua, cemento e bentonite rispettivamente in proporzione di 100, 30 e 5 parti in peso;
- e) controllare gli utensili per l'installazione ed in particolare l'efficienza della morsa di sostegno.

I tubi per prove Down-Hole dovranno avere sezione circolare con le seguenti caratteristiche:

- spessore  $\geq 3$  mm;
- diametro interno  $\geq 75$  mm.

I tubi dovranno essere realizzati in PVC/ABS, in spezzoni in genere di 3 m di lunghezza ed assemblati, preferibilmente, mediante filettatura a vite in modo tale da garantire giunti lisci e a perfetta tenuta.

In linea di massima la posa in opera dovrà seguire la seguente procedura:

- I. pulizia accurata della perforazione con acqua pulita;
- II. pre-assemblaggio dei tubi in spezzoni di lunghezza in genere pari a 6 m con fasciatura delle giunzioni con nastro autovulcanizzante;
- III. montaggio sul primo spezzone del tappo di fondo e fissaggio del tubo per l'iniezione;
- IV. inserimento del primo tubo predisposto nella perforazione; in presenza di terreni sotto falda si dovrà riempire il tubo con acqua per favorirne l'affondamento;
- V. bloccaggio del tubo mediante l'apposita morsa in modo che dalla perforazione fuoriesca solamente l'estremità superiore del tubo in PVC/ABS;
- VI. inserimento dello spezzone successivo ed esecuzione delle operazioni di incollaggio e sigillatura del giunto;
- VII. prosecuzione delle operazioni di cui al punto VI. fino al completamento della colonna;
- VIII. inizio della cementazione a partire dal fondo foro, a bassa pressione ( $\approx 2$  atm) attraverso il tubo di iniezione. La cementazione deve risultare priva di sacche d'aria o discontinuità confrontando il volume teorico dell'intercapedine tubo/parete foro con il volume della miscela iniettata. Il rivestimento di perforazione dovrà essere estratto non appena la miscela appare in superficie. Nella fase di estrazione del rivestimento il rabbocco di miscela potrà essere eseguito da testa foro anziché attraverso il tubo di iniezione, per mantenere il livello costante a piano campagna; qualora si noti l'abbassamento del livello della miscela il rabbocco dovrà continuare nei giorni successivi;
- IX. nella fase finale della cementazione si dovrà provvedere alla installazione, attorno al tratto superiore di prova, di un tubo di protezione in acciaio o PVC pesante (diametro minimo = 120 mm, lun-

ghezza  $\geq 1$  m). Il tubo dovrà sporgere di almeno 15 cm dalla sommità del tubo di prova e dovrà essere provvisto di un coperchio in acciaio dotato di lucchetto;

- X. al termine delle operazioni di cementazione il tubo di prova dovrà essere accuratamente pulito con acqua per eliminare l'eventuale cemento rimasto all'interno della tubazione;
- XI. verifica della direzione e dello scostamento dalla verticale del foro mediante misure clinometriche, se richiesto da RFI.

### C. Modalità esecutive

Le modalità di esecuzione della prova dovranno seguire la seguente procedura:

- posizionamento e bloccaggio del ricevitore in corrispondenza del primo punto di prova, ubicato in genere verso il fondo foro;
- generazione dell'impulso sismico e registrazione degli arrivi delle onde di compressione e, se richiesto, di taglio;
- ripetizione delle operazioni precedenti lungo tutto il foro (o parte di esso) interessato dal rilievo sismico.

Le misure dovranno essere eseguite con la frequenza richiesta dal dettaglio dell'indagine e comunque dovrà essere preventivamente concordata con RFI.

Per il corretto rilievo delle onde di taglio (onde S) il senso dell'impatto alla sorgente deve essere alternato in modo da evidenziare, per uno stesso geofono, un'inversione di fase nelle onde di taglio generate in modo tale da rendere meno incerta la rilevazione nei geofoni orizzontali, dei tempi di arrivo delle onde trasversali. A tale scopo l'Affidatario dovrà rilevare con precisione l'orientamento dei geofoni rispetto alla direzione di energizzazione.

### D. Documentazione

A corredo della prospezione dovranno essere consegnati i seguenti elaborati:

- a) NOTA TECNICA DESCRITTIVA della prospezione eseguita;
- b) DIAGRAFIA riportante tra l'altro:
  - i valori delle velocità rilevate;
  - il valore della velocità verticale media (velocità diretta);
  - il valore della velocità intervallo.
- c) SISMOGRAMMI in originale correlati dalle informazioni necessarie all'identificazione dei singoli tiri.

## **Prospezione con tecnica Cross-Hole**

### Generalità

Il metodo sismico Cross-Hole misura in foro la velocità delle onde di compressione ( $V_p$ ) e di taglio ( $V_s$ ) mediante il rilievo dei tempi di tragitto di impulsi sismici emessi da una sorgente ad un ricevitore, ciascuno dei quali posti all'interno di almeno due fori di sondaggio paralleli e ravvicinati.

Normative e raccomandazioni di riferimento:

- ISRM - "Suggested methods for seismic testing within and between boreholes", 1988

#### A. Attrezzatura

Il sistema di energizzazione dovrà essere di tipo non distruttivo onde consentire l'agibilità dei fori per altre eventuali indagini.

L'Affidatario dovrà dimensionare correttamente la sorgente di energia in funzione della natura e delle caratteristiche dei terreni interessati e che sono da considerarsi noti in quanto le misure sono successive alla perforazione dei sondaggi entro i quali si eseguono le stesse.

Per il rilievo delle onde trasversali la sorgente di energia dovrà garantire la produzione di impulsi sismici idonei a generare onde a prevalente componente di taglio.

La strumentazione di acquisizione dati deve essere di tipo digitale incrementale con le seguenti caratteristiche:

- sismografo registratore ad almeno 12 canali con capacità di campionamento dei segnali tra 0,025 e 2 msec;
- geofono tridirezionale con sensori ortogonali (di cui uno verticale e gli altri due orizzontali a 90° dal primo) collegati ad un cavo metrato di sospensione; la frequenza del geofono deve essere minore della metà della frequenza predominante delle onde sismiche generate; sistema di comunicazione e di trasmissione del "tempo zero" (time break).

Il sistema digitale di acquisizione dati dovrà essere dotato di filtri High Pass, Band Pass e Band Reject, di "Automatic Gain Control" e di convertitore A/D del segnale campionato, almeno a 16 bit.

#### B. Operazioni preliminari all'esecuzione della prova Cross-Hole

L'esecuzione della prova Cross-Hole richiede la predisposizione di almeno due fori di sondaggio di diametro sufficiente a permettere l'installazione in ciascun foro di un tubo in PVC/ABS munito dei necessari complementi per eseguire la cementazione dello stesso da fondo foro verso la superficie.

Durante la perforazione si dovrà avere particolare cura ad evitare rifluimenti in colonna e decompressioni del terreno nell'intorno del foro; l'eventuale rivestimento del foro dovrà essere estratto a trazione, senza rotazione della colonna.

In cantiere, prima dell'installazione del tubo in PVC/ABS, si dovrà provvedere a:

- a) controllare che i tubi non presentino lesioni o schiacciamenti dovuti al trasporto con particolare riferimento alle parti terminali;
- b) controllare che le estremità dei tubi non presentino irregolarità che possano compromettere il loro buon accoppiamento;
- c) verificare l'efficienza del tubo per l'iniezione della miscela di cementazione da applicare all'esterno della colonna;
- d) controllare e preparare i componenti per la realizzazione della miscela di cementazione che sarà composta da acqua, cemento e bentonite rispettivamente in proporzione di 100, 30 e 5 parti in peso;
- e) controllare gli utensili per l'installazione ed in particolare l'efficienza della morsa di sostegno.

I tubi per prove Cross-Hole dovranno avere sezione circolare con le seguenti caratteristiche:

- spessore  $\geq 3$  mm;
- diametro interno  $\geq 75$  mm.

I tubi dovranno essere realizzati in PVC/ABS, in spezzoni in genere di 3 m di lunghezza ed assemblati, preferibilmente, mediante filettatura a vite in modo tale da garantire giunti lisci e a perfetta tenuta.

In linea di massima la posa in opera dovrà seguire la seguente procedura:

- I. pulizia accurata della perforazione con acqua pulita;
- II. pre-assemblaggio dei tubi in spezzoni di lunghezza in genere pari a 6 m con fasciatura delle giunzioni con nastro autovulcanizzante;
- III. montaggio sul primo spezzone del tappo di fondo e fissaggio del tubo per l'iniezione;
- IV. inserimento del primo tubo predisposto nella perforazione; in presenza di terreni sotto falda si dovrà riempire il tubo con acqua per favorirne l'affondamento;
- V. bloccaggio del tubo mediante l'apposita morsa in modo che dalla perforazione fuoriesca solamente l'estremità superiore del tubo in PVC;
- VI. inserimento dello spezzone successivo ed esecuzione delle operazioni di incollaggio e sigillatura del giunto;
- VII. prosecuzione delle operazioni di cui al punto VI. fino al completamento della colonna;
- VIII. inizio della cementazione a partire dal fondo foro, a bassa pressione ( $\approx 2$  atm) attraverso il tubo di iniezione. La cementazione deve risultare priva di sacche d'aria o discontinuità confrontando il volume teorico dell'intercapedine tubo/parete foro con il volume della miscela iniettata. Il rivestimento di perforazione dovrà essere estratto non appena la miscela appare in superficie. Nella fase di estrazione del rivestimento il rabbocco di miscela potrà essere eseguito da testa foro anziché attraverso il tubo di iniezione, per mantenere il livello costante a piano campagna; qualora si noti l'abbassamento del livello della miscela il rabbocco dovrà continuare nei giorni successivi;
- IX. nella fase finale della cementazione si dovrà provvedere alla installazione, attorno al tratto superiore di prova, di un tubo di protezione in acciaio o PVC pesante (diametro minimo = 120 mm, lunghezza  $\geq 1$  m). Il tubo dovrà sporgere di almeno 15 cm dalla sommità del tubo di prova e dovrà essere provvisto di un coperchio in acciaio dotato di lucchetto;
- X. al termine delle operazioni di cementazione il tubo di prova dovrà essere accuratamente pulito con acqua per eliminare l'eventuale cemento rimasto all'interno della tubazione;
- XI. la distanza tra gli assi dei fori nonché la loro direzione dovrà essere misurata mediante un rilievo clinometrico. La misura della deviazione dell'asse (inclinazione dell'asse e rilievo azimutale) dovrà essere eseguita con una sonda inclinometrica avente caratteristiche di precisione 5' sessagesimali e da un sensore di riferimento magnetico con precisione maggiore di  $\pm 2^\circ$ .

### C. Modalità esecutive

Le modalità di esecuzione della prova dovranno seguire le seguenti procedure:

- posizionamento e bloccaggio della sorgente e dell/i ricevitore/i in corrispondenza della prima coppia/terna di posizioni coniugate;
- sparo e registrazione degli arrivi degli impulsi longitudinali e di taglio (se richiesto);
- ripetizione delle medesime operazioni per ciascuna coppia/terna di punti coniugati lungo l'intera verticale dei sondaggi o di tratto parziale da indagare.

Le misure dovranno essere eseguite con la frequenza richiesta dal dettaglio dell'indagine e comunque dovrà essere preventivamente concordata con RFI.

Per il corretto rilievo delle onde di taglio (onde S) il senso dell'impatto alla sorgente deve essere alternato in modo da evidenziare, per uno stesso geofono, un'inversione di fase nelle onde di taglio generate in modo tale da rendere meno incerta la rilevazione nei geofoni orizzontali, dei tempi di arrivo delle onde trasversali. A tale scopo l'Affidatario dovrà rilevare con precisione l'orientamento dei geofoni rispetto alla direzione di energizzazione.

### D. Documentazione

A corredo della prospezione dovranno essere consegnati i seguenti elaborati:

- a) LOG su cui verranno evidenziati i valori delle velocità di propagazione sismica (longitudinale e trasversale) relativi ai singoli livelli indagati;
- b) SISMOGRAMMI in originale corredati dalle indicazioni necessarie di ogni singolo tiro;
- c) NOTA TECNICA CONCLUSIVA delle tecniche operative e dei risultati conseguiti, dell'ubicazione dei fori di sondaggio e delle caratteristiche dei tubi installati.

### **Prospezione sismica tra fori di sondaggio con metodologia tomografica**

#### Generalità

Tale metodo geofisico viene utilizzato per la determinazione di un profilo dettagliato dell'andamento delle proprietà fisiche di un ammasso quali la velocità di propagazione delle onde sismiche, compreso tra nella superficie delimitata da due o tre fori di sondaggio.

Normative e raccomandazioni di riferimento:

- ISRM - "Suggested methods for seismic testing within and between boreholes", 1988

#### A. Attrezzatura

Il sistema di energizzazione dovrà essere di tipo non distruttivo onde consentire l'agibilità dei fori per altre eventuali indagini.

L'Affidatario dovrà dimensionare correttamente la sorgente di energia in funzione della natura e delle caratteristiche dei terreni interessati e che sono da considerarsi noti in quanto le misure sono successive alla perforazione dei sondaggi entro i quali si eseguono le stesse.

Per il rilievo delle onde trasversali la sorgente di energia dovrà garantire la produzione di impulsi sismici idonei a generare onde a prevalente componente di taglio.

La strumentazione di acquisizione dati deve essere di tipo digitale incrementale con le seguenti caratteristiche:

- sismografo registratore ad almeno 12 canali con capacità di campionamento dei segnali tra 0,025 e 2 msec;
- geofono tridirezionale con sensori ortogonali (di cui uno verticale e gli altri due orizzontali a 90° dal primo) collegati ad un cavo metrato di sospensione; la frequenza del geofono deve essere minore della metà della frequenza predominante delle onde sismiche generate; sistema di comunicazione e di trasmissione del "tempo zero" (time break);
- sistema di comunicazione e di trasmissione del "tempo zero" (time break).

Il sistema digitale di acquisizione dati dovrà essere dotato di filtri High Pass, Band Pass e Band Reject, di "Automatic Gain Control" e di convertitore A/D del segnale campionato, almeno a 16 bit.

#### B. Operazioni preliminari all'esecuzione della prova sismica in foro

L'esecuzione della prova sismica richiede la predisposizione di almeno due fori di sondaggio di diametro sufficiente a permettere l'installazione in ciascun foro di un tubo in PVC munito dei necessari complementi per eseguire la cementazione dello stesso da fondo foro verso la superficie.

Durante la perforazione si dovrà avere particolare cura ad evitare rifluimenti in colonna e decompressioni del terreno nell'intorno del foro; l'eventuale rivestimento del foro dovrà essere estratto a trazione, senza rotazione della colonna.

In cantiere, prima dell'installazione del tubo in PVC, si dovrà provvedere a:



- a) controllare che i tubi non presentino lesioni o schiacciamenti dovuti al trasporto con particolare riferimento alle parti terminali;
- b) controllare che le estremità dei tubi non presentino irregolarità che possano compromettere il loro buon accoppiamento;
- c) verificare l'efficienza del tubo per l'iniezione della miscela di cementazione da applicare all'esterno della colonna;
- d) controllare e preparare i componenti per la realizzazione della miscela di cementazione che sarà composta da acqua, cemento e bentonite rispettivamente in proporzione di 100, 30 e 5 parti in peso;
- e) controllare gli utensili per l'installazione ed in particolare l'efficienza della morsa di sostegno.

I tubi per le prove sismiche dovranno avere sezione circolare con le seguenti caratteristiche:

- spessore  $\geq 3$  mm;
- diametro interno  $\geq 75$  mm.

I tubi dovranno essere realizzati in PVC o ABS, in spezzoni in genere di 3 m di lunghezza ed assemblati, preferibilmente, mediante filettatura a vite in modo tale da garantire giunti lisci e a perfetta tenuta.

In linea di massima la posa in opera dovrà seguire la seguente procedura:

- I. pulizia accurata della perforazione con acqua pulita;
- II. pre-assemblaggio dei tubi in spezzoni di lunghezza in genere pari a 6 m con fasciatura delle giunzioni con nastro autovulcanizzante;
- III. montaggio sul primo spezzone del tappo di fondo e fissaggio del tubo per l'iniezione;
- IV. inserimento del primo tubo predisposto nella perforazione; in presenza di terreni sotto falda si dovrà riempire il tubo con acqua per favorirne l'affondamento;
- V. bloccaggio del tubo mediante l'apposita morsa in modo che dalla perforazione fuoriesca solamente l'estremità superiore del tubo in PVC/ABS;
- VI. inserimento dello spezzone successivo ed esecuzione delle operazioni di incollaggio e sigillatura del giunto;
- VII. prosecuzione delle operazioni di cui al punto VI. fino al completamento della colonna;
- VIII. inizio della cementazione a partire dal fondo foro, a bassa pressione ( $\approx 2$  atm) attraverso il tubo di iniezione. La cementazione deve risultare priva di sacche d'aria o discontinuità confrontando il volume teorico dell'intercapedine tubo/parete foro con il volume della miscela iniettata. Il rivestimento di perforazione dovrà essere estratto non appena la miscela appare in superficie. Nella fase di estrazione del rivestimento il rabbocco di miscela potrà essere eseguito da testa foro anziché attraverso il tubo di iniezione, per mantenere il livello costante a piano campagna; qualora si noti l'abbassamento del livello della miscela il rabbocco dovrà continuare nei giorni successivi;
- IX. nella fase finale della cementazione si dovrà provvedere alla installazione, attorno al tratto superiore di prova, di un tubo di protezione in acciaio o PVC pesante (diametro minimo = 120 mm, lunghezza  $\geq 1$  m). Il tubo dovrà sporgere di almeno 15 cm dalla sommità del tubo di prova e dovrà essere provvisto di un coperchio in acciaio dotato di lucchetto;
- X. al termine delle operazioni di cementazione il tubo di prova dovrà essere accuratamente pulito con acqua per eliminare l'eventuale cemento rimasto all'interno della tubazione;
- XI. la distanza tra gli assi dei fori nonché la loro direzione dovrà essere misurata mediante un rilievo clinometrico. La misura della deviazione dell'asse (inclinazione dell'asse e rilievo azimutale) dovrà essere eseguita con una sonda inclinometrica avente caratteristiche di precisione 5' sessagesimali e da un sensore di riferimento magnetico con precisione maggiore di  $\pm 2^\circ$ .



### C. Modalità esecutive

La prospezione dovrà essere eseguita secondo le seguenti modalità:

- posizionamento del sistema di energizzazione in un foro e di una catena di almeno dodici geofoni, collegati in continuità elastica con le pareti del tubo in PVC, nel secondo foro (o, se previsto, anche nel terzo foro);
- sparo e registrazione dei tempi di arrivo degli impulsi sismici ai geofoni in foro (o nei fori) ed, eventualmente, in superficie;
- traslazione della sorgente di energia secondo un intervallo non inferiore ad 1 metro e non superiore a 2 (due) metri, mantenendo fissa la posizione della catena di geofoni;
- ripetizione dell'operazione di sparo e registrazione;
- spostamento della catena di geofoni dopo aver eseguito un numero di tiri pari al numero di geofoni della catena stessa e ripetizione delle operazioni descritte ai punti precedenti.

L'elaborazione delle misure sismiche dovrà essere eseguita con tecnica tomografica suddividendo l'area indagata, delimitata dai fori di sondaggio e dalla superficie di campagna, in celle di dimensioni appropriate in funzione dell'estensione dell'area stessa e del numero di raggi sismici rilevati.

Di norma le celle unitarie avranno forma rettangolare di dimensione orizzontale e verticale (assi x e z) pari a  $1/3 \div 1/5$  e  $1/5 \div 1/10$  della spaziatura tra i geofoni.

A ciascuna cella verrà associato un valore di velocità di propagazione delle onde sismiche.

I diversi algoritmi (ART, SIRT, ILST ...) disponibili per l'elaborazione e l'interpretazione dei dati seguono in sostanza un modello di calcolo iterativo i cui passi principali sono così sintetizzabili:

- a- lettura dei primi arrivi;
- b- costruzione della famiglia di dati;
- c- determinazione del modello di velocità di 1<sup>a</sup> fase;
- d- calcolo dei tempi teorici di propagazione;
- e- confronto tra tempi di propagazione teorici e quelli rilevati;
- f- modifica e adattamento del modello di velocità.

### D. Documentazione

Al termine della prospezione dovranno essere consegnati i seguenti elaborati:

- a) RELAZIONE DESCRITTIVA delle operazioni eseguite, delle attrezzature impiegate e dei criteri logici e matematici di elaborazione delle misure eseguite. La relazione dovrà anche riportare in sintesi i risultati ottenuti, con la relativa interpretazione, e rappresentati nella documentazione grafica prodotta;
- b) CARTOGRAFIA con l'esatta ubicazione delle misure effettuate;
- c) TOMOGRAFIE delle sezioni investigate con l'indicazione dei valori di velocità descritti per ciascuna cella e una tabella riportante i valori intermedi dell'elaborazione eseguita;
- d) SISMOGRAMMI in originale corredati dalle indicazioni necessarie all'identificazione di ogni singolo tiro.

### **Carotaggio sonico in foro di sondaggio**

### Generalità

Con tale metodo geofisico viene rilevata la velocità delle onde elastiche longitudinali lungo l'asse di un foro mediante una strumentazione dotata di un generatore di impulsi di onde ultrasoniche e di uno o due ricevitori.

Normative e raccomandazioni di riferimento:

- ISRM - "Suggested methods for seismic testing within and between boreholes", 1988

### A. Attrezzatura

La sonda di prova, costituita da un corpo cilindrico, dovrà essere dotata di almeno una sorgente di impulsi sonici (nel campo delle frequenze ultrasoniche) ubicata all'estremità superiore e da 1 oppure 2 ricevitori, all'estremità inferiore, separati da una distanza di 80÷100 cm .

Lo spazio all'interno della sonda deve essere costituito da materiale isolante in grado di impedire la diretta propagazione dell'impulso sonico dalla sorgente al ricevitore lungo la sonda stessa.

Nel caso di sonda con due ricevitori, anche questi due dovranno essere separati da un corpo intermedio in grado di assorbire gli impulsi diretti.

La sonda di prova dovrà essere collegata, tramite cavi elettrici di connessione, ad una centralina di ricezione del segnale in grado di registrare il tempo di tragitto dell'impulso da sorgente a ricevitore in millisecondi.

### B. Modalità esecutive

Il carotaggio sonico dovrà essere eseguito in foro di sondaggio non rivestito.

La sequenza operativa di esecuzione del carotaggio può essere così sintetizzata:

- posizionamento della sonda alla quota prefissata (normalmente fondo foro);
- esecuzione della misura del tempo di percorrenza sorgente-ricevitore/i delle onde elastiche;
- traslazione della sonda di distanza fissa pari a 0,25÷0,50 m e ripetizione delle operazioni di cui ai punti precedenti.

### C. Documentazione

Al termine della prospezione dovranno essere consegnati i seguenti elaborati:

- a) NOTA DESCRITTIVA delle operazioni eseguite con commenti e valutazioni interpretative dei risultati ottenuti;
- b) DIAGRAMMI DI REGISTRAZIONE corredati dalle indicazioni necessarie a ricostruire la correlazione con la profondità;
- c) DIAGRAFIE che correlino, per ciascuna profondità del foro investigato, la corrispondente velocità di propagazione dell'onda elastica espressa in km/sec o m/sec.

### 3.5. STRUMENTAZIONI E PROVE IN SITO

#### 3.5.1. Apparecchiature in opera

##### **Piezometro a tubo aperto**

###### Generalità

Si tratta di tubi in metallo o PVC inseriti di norma entro fori di sondaggio in presenza di una falda acquifera in terreni a permeabilità medio alta ( $K > 10^{-6}$  m/sec) per la misura di livello della falda stessa ovvero per la misura delle pressioni interstiziali in un determinato punto.

Normative e raccomandazioni di riferimento:

- Associazione Geotecnica Italiana (1977) - "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione dell'indagine geotecniche".

###### A. Strumentazione

Lo strumento è costituito da:

- **Tubi filtranti** in metallo o PVC con finestre trasversali, diametro esterno  $1\frac{1}{4}'' \div 3''$ , con giunzione a manicotto esterno. La larghezza delle finestre deve essere di  $0,4 \div 1,0$  mm con spaziatura di 9 mm. La parte filtrante deve essere rivestita da una calza di geotessile.
- **Tubi ciechi** in metallo o PVC con diametro esterno  $1\frac{1}{4}'' \div 3''$  e con le estremità filettate e giuntate con manicotti esterni.

Se destinato al prelievo di campioni di fluido per analisi chimico - fisiche, si installeranno tubi del diametro interno  $\varnothing_{int} \geq 100$  mm, costituiti da acciaio inossidabile o PVC con rivestimento in granulare siliceo; l'uso di tubi in PVC non rivestito deve in questo caso essere concordato con RFI e chiaramente segnalato nella documentazione della avvenuta installazione.

###### B. Installazione

###### B1. Controlli ed operazioni preliminari

Prima della posa in opera:

- a) verificare che i tubi non presentino lesioni, schiacciamenti o curvature dovute al trasporto o all'immagazzinamento;
- b) verificare che i filetti alle estremità dei tubi ed i manicotti non presentino anomalie tali da compromettere il buon accoppiamento dei tubi;
- c) montaggio dei manicotti di giunzione ad una estremità dei tubi con sigillatura mediante sigillanti idraulici;
- d) preparazione del materiale necessario alla formazione degli strati filtranti e di sigillatura; per lo strato filtrante devono essere utilizzati sabbia e ghiaietto puliti con granulometria  $1 \div 4$  mm; per la sigillatura devono essere utilizzate palline di bentonite precomprese con diametro  $1 \div 2$  cm e ghiaietto da  $2 \div 3$  cm;
- e) controllo della quota di fondo foro con scandaglio;
- f) lavaggio della perforazione con acqua pulita e immessa dal fondo.

### B2. Modalità esecutiva

La posa in opera dei piezometri deve essere eseguita secondo le seguenti modalità:

- a) inserimento dello spezzone di tubo finestrato aggiungendo progressivamente gli spezzoni di tubo e sigillando le giunzioni con sigillanti idraulici. La giunzione dei tubi deve essere realizzata senza forzare eccessivamente l'avvitamento dei manicotti filettati al fine di evitare la deformazione delle estremità dei tubi e la conseguente difficoltà di passaggio della sonda di misura;
- b) controllo della quota superiore dello strato di sabbia;
- c) realizzazione dello strato filtrante in sabbia e ghiaietto già lavato per lo spessore richiesto, compatando leggermente con apposito pestello e ritirando i rivestimenti. Tale operazione deve essere eseguita con il foro pieno d'acqua;
- d) completamento dell'installazione dei tubi e verifica di assenza di ostruzioni o comunque impedimenti al passaggio della sonda o del trasduttore, inserendo la sonda stessa o un falso trasduttore;
- e) formazione del tappo impermeabile costituito da palline di bentonite con spessore di almeno 1 m, ritirando progressivamente i rivestimenti del foro senza ausilio della rotazione;
- f) riempimento del tratto del foro compreso tra l'estremità superiore del tappo impermeabile e il piano campagna con malta di cemento e bentonite (dosaggio a/c/b rispettivamente 100/50/10 in peso) o altro materiale idoneo;
- g) verifica dell'assenza di ostruzioni o di impedimenti.

Nei giorni successivi all'installazione, di norma, devono eseguirsi alcune letture per controllare la stabilizzazione del livello piezometrico.

### C. Misure

La stabilizzazione della quota falda va misurata tutti i giorni per tutta la durata del cantiere. L'attrezzatura di misura è composta da una sonda costituita a sua volta da un cavo metrato alla cui estremità è posizionato un puntale che emette un segnale acustico a contatto con il pelo libero dell'acqua. Le letture vengono eseguite con le seguenti modalità: calaggio della sondina nel tubo svolgendo lentamente il cavo, a contatto con il pelo dell'acqua (segnale acustico) rialzare leggermente il cavo e riabbassarlo nuovamente annotando la quota relativa sul cavo. La misurazione deve essere ripetuta per almeno 3 volte e comunque fino al raggiungimento di una precisione di  $\pm 5$  mm.

Lo strumento di misura da cui dipende la precisione della lettura (sonda a scandaglio) deve essere tarato con le modalità esecutive di seguito riportate.

La taratura ordinaria deve essere operata mensilmente sul cavo metrato per mezzo di una bindella metrica di riferimento.

Lo strumento di lettura deve essere assoggettato solo a semplici controlli prima e dopo l'esecuzione di ogni lettura giornaliera. I due controlli a priori e a posteriori devono avvenire comunque nel corso dello stesso giorno solare.

Essi devono consistere nell'immersione dello strumento in acqua con verifica dell'affondamento del sensore al momento della chiusura del contatto. La sonda deve essere inserita nell'apposito tubo di misura, munito di una tacca di riferimento distante esattamente un metro dal pelo libero dell'acqua.

Tra il punto di contatto e la tacca del primo metro deve essere verificata una distanza di  $1 \text{ m} \pm 2 \text{ mm}$ . Nel caso in cui ciò non avvenga, si deve provvedere alla sostituzione della sonda e della sua eventuale nuova taratura.

I controlli devono inoltre comprendere una attenta ispezione visiva dell'integrità della sonda nonché la verifica della carica delle batterie e dell'efficienza del sistema di avviso acustico e/o luminoso.

Qualora si riscontrino piegature, incisioni della guaina, abrasione e/o traslazioni di tacche di riferimento, la

sonda deve essere sostituita. Non sono ammesse giunzioni di qualsiasi tipo sul cavo.

E' possibile l'automatizzazione del sistema: in questo caso è necessario posizionare dei trasduttori di pressione (caratteristiche medie: campo di misura  $2\div 10$  bar, precisione  $0,25\div 1\%$  fondo scala, risoluzione circa  $0,03\%$  fondo scala, deriva termica inferiore a  $0,05\%$  fondo scala/ $^{\circ}\text{C}$ , campo di temperatura  $0\div 35^{\circ}\text{C}$ ) muniti di filtri di protezione e cavo di alimentazione e trasmissione dati, inseriti nei piezometri alla quota prevista previo opportuno zavorramento. Per la lettura si utilizzeranno centraline portatili le cui caratteristiche medie sono display  $4\ 1/2$  digits, risoluzione 1 digit, coefficiente deriva termica inferiore a  $0,3$  digit/ $^{\circ}\text{C}$ , autonomia minima 10 ore con batterie ricaricabili.

L'Affidatario ha l'obbligo di eseguire la prima misura del livello statico della falda.

#### D. Documentazione

Al completamento delle operazioni dovranno essere riportate nel documento stratigrafico del sondaggio o della perforazione eseguita, per ogni piezometro installato, tutte le informazioni sulle relative misure e sul livello piezometrico rilevato, comprendenti:

- informazioni generali (profondità, quota bocca foro m slm etc.);
- caratteristiche dei tubi installati;
- schema geometrico di installazione;
- dimensione del tratto filtrante;
- quota assoluta del terminale piezometrico;
- posizioni e dimensioni dei tamponi;
- tabelle con letture piezometriche.

### **Piezometro con cella tipo Casagrande**

#### Generalità

E' uno strumento, posto in opera in fori di sondaggio, per misurare la pressione neutra dell'acqua con tempi di risposta relativamente brevi, anche in corrispondenza di falde sospese minori, isolando il tratto di misura, e in terreni con permeabilità bassa. Nei normali fori di sondaggio è possibile installare 1 o 2 celle piezometriche. Per una corretta installazione, in presenza di fori instabili, è comunque necessario che il foro di sondaggio medesimo sia sostenuto con tubi di rivestimento.

Normative e raccomandazioni di riferimento:

- Associazione Geotecnica Italiana (1977) -"Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione dell'indagine geotecniche".

#### A. Strumentazione

La verticale strumentale completa deve essere costituita dai seguenti elementi:

- cella piezometrica;
- tubi di misura e di spurgo.

#### A1. Cella piezometrica

La cella piezometrica deve essere composta da un filtro e da un telaio. Il filtro, avente un diametro esterno

di circa 50 mm e lunghezza non inferiore a 200 mm, deve essere costituito da agglomerato di silice - o materiale equivalente - con porosità compresa tra 0,2 e 0,6 mm; il telaio deve avere ad una estremità due raccordi da 1/2".

Tutti i materiali che costituiscono la cella piezometrica devono essere protetti da agenti corrosivi.

#### A2. Tubi di misura e di spurgo

Ogni cella piezometrica deve essere munita di un tubo di misura e di un tubo di spurgo in PVC, con giunti a tenuta stagna, aventi le seguenti caratteristiche:

- diametro nominale 1/2";
- lunghezza standard degli spezzoni pari a 3÷6 m.

### B. Installazione

#### B1. Controlli ed operazioni preliminari

Prima della posa in opera:

- a) verifica dell'integrità del filtro e del suo corretto montaggio sul corpo della cella;
- b) verifica che i tubi non presentino lesioni, schiacciamenti o curvature dovute al trasporto o immagazzinamento;
- c) verifica che i filetti alle estremità dei tubi ed i manicotti non presentino anomalie tali da compromettere il buon accoppiamento dei tubi.
- d) saturazione della cella porosa in acqua disareata;
- e) collegamento del primo spezzone dei tubi alla cella piezometrica con sigillatura dei filetti mediante sigillanti idraulici;
- f) montaggio dei manicotti di giunzione ad una estremità dei tubi con sigillatura mediante sigillanti idraulici;
- g) preparazione del materiale necessario alla formazione degli strati filtrante e di sigillatura; per lo strato filtrante si consiglia di utilizzare sabbia e ghiaietto puliti con granulometria 1÷4 mm; per la sigillatura si può utilizzare una miscela di palline di bentonite precomprese con diametro 1÷2 cm e ghiaietto di 2÷3 cm;
- h) controllo della quota di fondo foro con idoneo scandaglio;
- i) lavaggio della perforazione con acqua pulita e immessa dal fondo.

#### B2. Modalità esecutive

La posa in opera dei piezometri deve essere eseguita secondo le seguenti modalità:

- a) realizzazione dello strato filtrante in sabbia e ghiaietto per uno spessore di circa 0,5 m, compatando leggermente con un apposito pestello e ritirando i rivestimenti; tale operazione deve avvenire con il foro pieno d'acqua;
- b) controllo mediante scandaglio della quota superiore dello strato di sabbia;
- c) inserimento della cella piezometrica nella perforazione, aggiungendo progressivamente gli spezzoni di tubo e sigillando le giunzioni con sigillanti idraulici. Durante la giunzione dei tubi si deve porre attenzione a non forzare eccessivamente l'avvitamento dei manicotti filettati al fine di evitare la deformazione delle estremità dei tubi e la conseguente difficoltà di passaggio della sonda di misura;
- d) completamento dell'installazione dei tubi e verifica di assenza di ostruzioni o comunque impedi-

menti al passaggio della sonda, inserendo la sonda stessa;

- e) immissione di sabbia e ghiaietto puliti attorno e sopra la cella piezometrica per un'altezza mediamente di 2 m, ritirando progressivamente i rivestimenti dal foro;
- f) formazione di un tappo impermeabile costituito da palline di bentonite, fino ad uno spessore totale di almeno 1 m, ritirando progressivamente i rivestimenti del foro senza ausilio della rotazione;
- g) riempimento del tratto del foro compreso tra l'estremità superiore del tappo impermeabile e il piano campagna con miscela di cemento e bentonite (dosaggio a/c/b rispettivamente 100/50/10) o altro materiale idoneo;
- h) eventuale posa in opera di un tubo di protezione in PVC o in acciaio attorno all'estremità superiore dei tubi del piezometro e suo riempimento con sabbia fine, oppure posa in opera del pozzetto protettivo;
- i) verifica finale dell'assenza di ostruzioni o comunque di impedimenti al passaggio della sonda, mediante l'inserimento dell'indicatore di livello;
- j) spurgo della cella con acqua pulita immessa alternativamente nei due tubi per almeno 20 minuti.

Le estremità dei tubi saranno inseriti in un pozzetto metallico con chiusura a lucchetto e chiave. Il pozzetto dovrà essere cementato nel terreno. Le chiavi dovranno essere identificate da un cartellino completo delle indicazioni del caso.

Nei giorni successivi all'installazione, di norma, si devono eseguire alcune letture nei due tubi per controllare la stabilizzazione del livello piezometrico.

Qualora si preveda di installare all'interno della stessa perforazione due celle Casagrande a differenti profondità, deve essere eseguito un adeguato tappo impermeabile che consenta un completo isolamento fra le due celle piezometriche. Tale isolamento può essere realizzato con strati alternati di palline di bentonite e ghiaietto dello spessore di circa 10 cm per una lunghezza totale di almeno 3 m.

### C. Misure

Per la misura manuale del livello di falda nei piezometri Casagrande deve essere impiegato un idoneo indicatore di livello ("freatimetro").

Tale indicatore deve essere composto da un puntale rilevatore e da un cavo metrato avvolto su rullo. Deve essere dotato di un avvisatore acustico che segnali il contatto del puntale con la superficie del pelo libero dell'acqua e di un cavo metrato per determinare la profondità del pelo libero rispetto alla sommità del tubo di misura.

Le letture manuali con indicatore di livello devono essere eseguite secondo il seguente schema:

- infilare il sensore dell'indicatore nel tubo di misura del piezometro ed accendere la sonda;
- calare lentamente il sensore nel tubo facendo ruotare il rullo avvolgicavo ed evitando che scenda per peso proprio;
- quando l'indicatore segnala l'avvenuto contatto con l'acqua, estrarre leggermente la sonda fino alla cessazione del segnale acustico e/o luminoso;
- calare di nuovo lentamente il sensore fino al contatto e leggere la quota sul cavo;
- ripetere le operazioni almeno 3 volte, e comunque fino a che la quota possa essere definita con una precisione pari a  $\pm 5$  mm;
- annotare la quota così rilevata sul modulo di lettura.

La strumentazione installata deve essere oggetto di controlli periodici consistenti nella verifica che il piezometro non sia intasato confrontando le quote piezometriche nei due tubi (di misura e di spurgo). Se le letture differiscono per più di 5 cm, il filtro deve essere ritenuto intasato e si deve quindi procedere all'operazione di spurgo da eseguirsi, indicativamente, secondo le seguenti modalità:

- a) immissione di un getto di acqua dolce pulita a pressione non superiore a 0,5 bar in uno dei due tubi, attendendo che l'acqua fuoriesca dall'altro tubo per almeno 10 minuti;
- b) ripetizione dell'operazione a) immettendo acqua nell'altro tubo.

E' possibile l'automatizzazione del sistema: in questo caso è necessario posizionare dei trasduttori di pressione (caratteristiche medie: campo di misura 2÷10 bar, precisione 0,25÷1% fondo scala, risoluzione circa 0,03% fondo scala, deriva termica inferiore a 0,05 fondo scala °C, campo di temperatura 0÷35 °C) muniti di filtri di protezione, cavo di alimentazione e trasmissione dati, inseriti nei piezometri alla quota prevista previo opportuno zavorramento. Per la lettura si utilizzano centraline portatili le cui caratteristiche medie sono: display 4 1/2 digits, risoluzione 1 digit, coefficiente deriva termica inferiore a 0,3 digit/°C, autonomia minima 10 ore con batterie ricaricabili.

L'Affidatario ha l'obbligo di eseguire la prima misura del livello statico della falda.

#### D. Documentazione

Al completamento delle operazioni dovranno essere riportate, sul documento stratigrafico del sondaggio o della perforazione eseguita, per ogni piezometro installato, tutte le informazioni sul tipo di cella, sulla installazione del piezometro e sul livello piezometrico rilevato.

Per ciascuna cella (o coppia) installata:

- informazioni generali (profondità, quota bocca foro slm etc...);
- caratteristiche dei tubi installati;
- dimensioni del tratto filtrante;
- quota assoluta dei termini piezometrici;
- posizioni e dimensioni dei tamponi;
- tabelle con letture piezometriche.

### **Piezometro elettropneumatico**

#### Generalità

Tali strumenti sono utilizzati in terreni di varia natura e granulometria e la loro installazione è consigliabile quando sia necessaria una risposta rapida alle variazioni delle pressioni neutre nel terreno. In definitiva il piezometro elettropneumatico deve essere posto in opera in terreni con permeabilità da media a bassa ( $K < 10^{-6}$  m/sec). Per una corretta installazione è comunque necessario che il foro di sondaggio sia realizzato con tubi di rivestimento.

Se la pressione idrostatica, agendo sul diaframma, viene bilanciata da un gas si dice pneumatico; se invece l'inflessione del diaframma viene misurata con estensimetri si dice elettrico.

Normative e raccomandazioni di riferimento:

- Associazione geotecnica italiana (1977) - "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche".

#### A. Strumentazione

Il piezometro è costituito da un telaio, un filtro, un diaframma, un trasduttore e un cavo esterno.

Il trasduttore di pressione dovrà avere le seguenti caratteristiche:



- Campo di misura tipico : compreso tra 2 e 20 bar
- Massimo sovraccarico : min. 1,5 volte il fondo scala
- Precisione tipica : compresa tra 0,25 e 1% fondo scala
- Risoluzione tipica : 0,03% fondo scala
- Segnale in uscita : tensione o corrente
- Deriva termica : (zero-span) non superiore a 0,03%/ °C
- Campo di temperatura : 0÷50°C

I filtri dovranno avere le seguenti caratteristiche:

- Materiale : acciaio inox sinterizzato, bronzo sinterizzato, ceramica, silice
- Porosità tipica : compresa tra 0,2 e 0,6 µm

I cavi dovranno avere le seguenti caratteristiche:

- Conduttori : rame stagnato
- Isolamento tipico : PVC, PE, PTFE
- Carico di rottura : non inferiore a 100 Kg
- Schermatura : 90% in calza di rame stagnato
- Rigidità dielettrica : non inferiore a 5000 V
- Isolamento dei conduttori : non inferiore a 1000 V
- Guaine di protezione (interna ed esterna): in funzione delle condizioni di installazione.

## B. Installazione

### B1. Controlli ed operazioni preliminari

Prima dell'inizio della posa in opera:

- a) controllo visivo sull'integrità e sul corretto montaggio dello strumento, con particolare riguardo al filtro ed alla connessione del cavo e del relativo terminale;
- b) verifica del corretto funzionamento dello strumento;
- c) preparazione del piezometro in un sacchetto di juta o tela, riempito con sabbia fine già lavata, e sistemazione dello strumento in un contenitore con acqua;
- d) esecuzione di una lettura con centralina portatile;
- e) preparazione del materiale per la formazione degli strati filtrante e di sigillatura; per lo strato filtrante devono essere utilizzati sabbia e ghiaia fine pulite ( $\varnothing=1\div 5$  mm); per la sigillatura si utilizzano palline di bentonite precompressa con diametro  $\varnothing=1\div 2$  cm e ghiaietto da 2÷3 cm;
- f) lavaggio della perforazione con acqua dolce pulita;
- g) realizzazione dello strato filtrante in sabbia per uno spessore di almeno 0,5 mm, compattando leggermente con apposito pestello e ritirando i rivestimenti. Tale operazione deve essere eseguita con il foro pieno d'acqua.

### B2. Modalità esecutive

La posa in opera dei piezometri è eseguita secondo le seguenti specifiche:

- a) controllo della quota superiore dello strato di sabbia, mediante scandaglio;
- b) posizionamento del piezometro nella perforazione alla quota prevista;
- c) esecuzione di una lettura per controllare il corretto funzionamento del piezometro;
- d) immissione di sabbia pulita attorno e sopra il piezometro per una altezza di circa 0,5 m, ritirando progressivamente i rivestimenti di perforazione senza l'ausilio della rotazione e controllando che il piezometro non risalga con i rivestimenti;
- e) controllo della quota superiore dello strato filtrante mediante apposito scandaglio;
- f) formazione del tappo impermeabile costituito da palline di bentonite da 2÷3 cm di diametro, con spessore superiore a 1 m; ritiro progressivo dei rivestimenti di perforazione, non utilizzando la rotazione e compattando leggermente con pestello per evitare di danneggiare il cavo;
- g) riempimento del tratto del foro compreso tra l'estremità superiore del tappo impermeabile e il piano campagna con miscela di cemento e bentonite (dosaggio a/c/b rispettivamente 100/50/10 in peso) od altro materiale idoneo;
- h) esecuzione di una lettura di controllo del buon funzionamento del piezometro.

Nei giorni successivi all'installazione di ogni piezometro devono essere eseguite alcune letture al fine di controllarne il corretto funzionamento e la stabilizzazione della pressione interstiziale.

La misura deve essere effettuata connettendo il cavo alla centralina di lettura mediante l'apposito connettore.

### C. Misure

Per la lettura dei trasduttori di pressione devono essere utilizzate centraline di lettura con le seguenti caratteristiche tecniche:

- Display : 4 1/2 digits - LCD
- Risoluzione : 1 digit
- Precisione tipica : % 2 digits
- Coefficiente di deriva termica :  $\leq 0,3$  digit /°C
- Temperatura di utilizzo : 0÷50°C
- Grado minimo di protezione : IP64
- Connettori : stagni IP65
- Alimentazione : con batterie interne ricaricabili
- Autonomia : min. 10 ore

Sul display della centralina deve essere visualizzata la misura in unità elettriche (L) da cui viene ricavata la profondità della falda (Z) mediante la formula:

$$Z = P - (L - F)/S \text{ dove}$$

Z = profondità della falda dal p.c. (m)

P = profondità in installazione del sensore piezometrico (m)

L = lettura sul display centralina (unità elettriche)

F = misura elettrica del trasduttore fuori acqua (unità elettriche/m) (=taratura od offset di fabbrica da verificare in cantiere prima della posa in opera)

S = sensibilità del trasduttore (mV/m)

Si deve quindi fornire la quota assoluta rispetto al livello del mare corrispondente al valore della pressione interstiziale nel punto di misura. A tale scopo si deve usare la seguente relazione:

$$Q_{pa} = q_{cella} + (I - o) \cdot K$$

dove:

$Q_{pa}$  = quota piezometrica assoluta rispetto al livello mare (m)

$q_{cella}$  = quota assoluta di installazione della cella piezometrica (m)

I = lettura elettrica

o = offset pari all'ultimo controllo di zero effettuato (lettura elettrica)

K = sensibilità dello strumento (m/lettura elettrica).

#### D. Documentazione

Per ogni piezometro installato dovranno essere riportate nel documento stratigrafico della perforazione tutte le informazioni sulla ubicazione e le relative caratteristiche e sul livello piezometrico rilevato.

La documentazione comprenderà, per ciascuna cella installata:

- informazioni generali (profondità, quota bocca foro ecc.);
- tipo e caratteristiche della cella piezometrica e dell'unità di misurazione;
- schema geometrico dell'installazione;
- quota assoluta dei terminali piezometrici;
- tabulazioni dei dati piezometrici raccolti per la durata del cantiere.

#### **Tubo inclinometrico**

##### Generalità

Si tratta di tubi deformabili, resi solidali al terreno e di cui seguono le deformazioni, all'interno dei quali viene calata una apposita sonda inclinometrica in grado di misurare le variazioni dalla verticale su due piani perpendicolari. La strumentazione trova efficace utilizzo nei movimenti franosi o di grandi rilevati per i quali è in grado di fornire informazioni su profondità, direzione e velocità di scorrimento. Affinché si ottengano valori attendibili è necessario che la base del tubo inclinometrico sia ammorsata in terreno stabile.

Normative e raccomandazioni di riferimento:

- ISRM (1977) - "Suggested Methods for Monitoring Rock Movements using Inclinedometers and Tiltmeters".

## A. Strumentazione

### A1. Tubi e manicotti

Devono essere utilizzati tubi inclinometrici a 4 guide con diametro interno del tubo pari a 76 mm e lunghezza non inferiore a 3 m.

I tubi devono essere realizzati in alluminio; in alternativa potranno essere installati tubi inclinometrici in materiali diversi (ABS, PVC, vetroresina) il cui utilizzo dovrà essere preventivamente autorizzato da RFI.

La giunzione tra gli spezzoni di tubo deve avvenire per mezzo di appositi manicotti di giunzione la cui lunghezza non deve essere inferiore a 300 mm. Le tolleranze di accoppiamento con i tubi devono essere tali da garantire una rotazione reciproca dei tubi inferiore a 2°.

Le caratteristiche dei tubi dovranno essere le seguenti:

- Dimensioni :  $\varnothing_{\text{int guide}} = 82 \text{ mm}$
- Spessore : min. 2 mm
- Lunghezza tubi : 3 m
- Materiale : alluminio
- Eventuali protezione : anodizzazione o verniciatura con vernici epossidiche
- Angolo di spiralatura max:  $< 0,5^\circ/\text{m}$
- Perpendicolarità delle sezioni terminali :  $\pm 1^\circ$

L'utilizzo di tubi in alluminio in ambiente aggressivo dovrà essere subordinato alla realizzazione di opportune protezioni (anodizzazioni o verniciatura con resine epossidiche).

La cementazione dei tubi in alluminio dovrà comunque sempre essere eseguita mediante l'utilizzo di cemento pozzolanico.

Le caratteristiche dei manicotti di giunzione dovranno essere le seguenti:

- Dimensioni :  $\varnothing_{\text{int guide}} = 87\div 89 \text{ mm}$
- Lunghezza : 300 mm
- Materiali : alluminio
- Gioco massimo di accoppiamento tra i tubi, dovuto ai soli manicotti :  $\pm 2^\circ/\text{giunto}$

### A2. Sonda inclinometrica

La sonda inclinometrica dovrà avere le seguenti caratteristiche:

- Tipo di sonda : biassiale
- Sensori : servoinclinometri
- Passo tra le ruote : 50 cm, 2 feet (61 cm)
- Campo di misura :  $\pm 14,5^\circ$  ,  $\pm 30^\circ$
- Connettore per giunzione al cavo : stagno (500 m)
- Materiale : acciaio inox
- Carrelli : basculanti a due ruote
- Risoluzione : 1" di grado

### A3. Cavo

Il cavo deve fornire l'alimentazione alla sonda e trasmettere i segnali rilevati, nonché garantirne il sostegno e permettere la determinazione della profondità di lettura. A questo scopo esso deve essere dotato di tacche di riferimento di lunghezza uguale al passo dello strumento.

Il cavo deve essere di tipo inestensibile con armatura interna in acciaio o Kevlar e deve avere la guaina esterna antiabrasione, con tacche di riferimento ogni mezzo metro, in accordo al passo tra le ruote della sonda.

Il cavo deve essere provvisto alle estremità di connettori per il collegamento alla sonda ed alla centralina di lettura.

### A4. Centralina di misura

La lettura delle inclinazioni rilevate dalla sonda devono essere eseguite per mezzo di una centralina portatile dotata di uno o due displays su cui vengono visualizzate le inclinazioni espresse in seno dell'angolo, amplificate di un fattore pari a 10.000, 20.000 o 25.000 con coefficiente di deriva termica compreso tra 0,01 e 0,03% fondo scala/°C.

La centralina può essere di tipo manuale, quindi con la necessità di trascrizione manuale dei dati rilevati, oppure automatica con registrazione dei dati rilevati, oppure automatica con registrazione dei dati su memoria magnetica e non volatile ed eventuale stampa su carta.

Le caratteristiche della centralina di misura dovranno essere le seguenti:

- Display : 4 1/2 digits LCD
- Risoluzione : 1/10.000; 1/20.000; 1/25.000
- Precisione tipica : +2 digits;  $\pm 0,3$  digit/°C
- Lettura : 10.000/20.000/25.000 sen  $\alpha$
- Temperatura di utilizzo : 0÷50°C
- Alimentazione : batterie interne ricaricabili
- Autonomia : min. 10 ore
- Protezioni : IP 64

### B. Installazione

La perforazione in cui verrà installato il tubo inclinometrico dovrà avere le seguenti caratteristiche:

- diametro sufficiente all'inserimento del tubo inclinometrico che nella parte a massima sezione (manicotto con nastro di protezione) ha un diametro di circa 96 mm al quale va aggiunto il diametro del tubetto di iniezione;
- deviazione globale dalla verticale  $\leq 1,5\%$ .

#### B1. Controlli ed operazioni preliminari

Prima dell'inizio della posa in opera:

- a) verifica che i tubi ed i manicotti non presentino lesioni o schiacciamenti soprattutto nelle parti terminali;
- b) verifica che le estremità dei tubi e dei manicotti non presentino sbavature tali da compromettere il buon accoppiamento di tubi e lo scorrimento della sonda di misura;
- c) verifica dell'efficienza del tubo per l'iniezione della miscela di cementazione dalla valvola di fondo;

- d) verifica del corretto montaggio della valvola di fondo;
- e) controllo e preparazione dei componenti per la realizzazione della miscela di cementazione;
- f) controllo degli utensili per l'installazione: diametro delle punte del trapano, rivetti, collante, etc.;
- g) verifica quota fondo foro.

### B2. Modalità esecutive

La posa in opera dei tubi inclinometrici deve essere eseguita secondo le seguenti modalità:

- a) mantenimento del foro pieno il più possibile d'acqua e verifica della profondità con scandaglio;
- b) preassemblaggio dei tubi in spezzoni di 6 m terminanti ad un estremo con un manicotto; le giunzioni devono essere realizzate secondo le seguenti modalità:
  - inserimento del manicotto sul tubo per metà della sua lunghezza;
  - esecuzione dei fori per i rivetti (minimo 4 per ogni tubo) lungo generatrici equidistanti dalle guide ed a circa 50 mm dall'estremità del manicotto;
  - mantenendo in posizione il manicotto mediante inserimento provvisorio di rivetti, introduzione dell'altro tubo ed esecuzione dei fori;
  - rimozione del manicotto;
  - stesura di un sottile strato di mastice o di idoneo collante all'estremità dei tubi da giuntare, per una lunghezza di circa 15 cm;
  - inserimento del primo tubo nel manicotto e rivettaggio;
  - inserimento del secondo tubo e rivettaggio;
  - evitando bruschi movimenti, abbondante fasciatura del giunto con nastro adesivo auto vulcanizzante, in particolar modo sui bordi e sopra i rivetti;
- c) assemblaggio della valvola di fondo sul primo spezzone di tubo, con annotazione della lunghezza totale e montaggio del primo manicotto;
- d) inserimento del primo spezzone così predisposto nella perforazione;
- e) bloccaggio del tubo con la cravatta avendo cura di non deformarlo e di permettere la fuoriuscita del solo manicotto di giunzione;
- f) inserimento dello spezzone successivo e foratura, incollaggio, rivettatura e sigillatura del giunto;
- g) dopo avere allentato la cravatta, calaggio della colonna nel foro fino a fare sporgere il solo manicotto; bloccaggio del tubo con la cravatta;
- h) inserire nel tubo inclinometrico l'acqua necessaria per diminuire il galleggiamento dello stesso se non sono stati inseriti pesi sufficienti sul fondo della tubazione;
- i) mediante operazioni simili a quelle sopra descritte, completamento della posa della colonna provvedendo, ad intervalli opportuni, a fissare al tubo inclinometrico i tubetti di iniezione (se previsti);
- j) completata la posa della colonna, inserimento all'interno del tubo inclinometrico dei tubi di iniezione (se previsti) che vengono agganciati alla valvola di fondo: inizio della cementazione a bassa pressione (max 2 bar). L'operazione si considera ultimata dopo avere osservato, per un congruo intervallo di tempo, la fuoriuscita di miscela in superficie;
- k) estrazione del rivestimento di perforazione senza l'ausilio della rotazione. Durante questa fase si eseguono i rabbocchi necessari di miscela di cementazione direttamente dall'alto; qualora si sia notato l'abbassamento del livello della miscela, si deve provvedere al rabbocco anche nei giorni successivi;
- l) terminata la cementazione, lavaggio del tubo mediante apposito attrezzo;

- m) verifica dell'integrità e della continuità del tubo mediante sonda testimone;
- n) determinazione della guida di riferimento e valutazione del suo azimut mediante bussola;
- o) posa in opera del pozzetto di protezione.

### C. Misure

La quota assoluta della testa del tubo inclinometrico deve essere rilevata mediante livellazione di precisione con frequenza almeno semestrale. Il rilievo deve essere ripetuto ogni qualvolta si effettuano operazioni di variazione di quota della testa tubo.

L'esecuzione di una lettura deve essere eseguita annotando i valori letti al display della centralina quando la sonda inclinometrica si trova posizionata ad una profondità nota.

Questi valori dipendono dalla costante di misura della sonda e sono proporzionali all'inclinazione locale.

Le letture devono essere eseguite in tutte le quattro guide dei tubi: la prima con la ruota di riferimento nella guida 1, la seconda lettura nella guida 3, la terza nella guida 2 e la quarta nella 4, per cui, utilizzando sonde biassiali le profondità sono lette complessivamente in otto componenti ( A1, A2, A3, A4; B1, B2, B3, B4).

L'eventuale esecuzione delle letture su due guide soltanto deve essere preventivamente concordata con RFI.

Le letture devono essere eseguite secondo le seguenti modalità:

- a) la sonda inclinometrica viene inserita nella guida 1, che di norma è sull'asse più parallelo alla direzione del movimento da indagare, e quindi calata lentamente nel tubo fino a fondo foro e ivi mantenuta ferma per circa 10 minuti fino alla stabilizzazione del valore visualizzato al display;
- b) la sonda viene sollevata nella posizione della prima lettura a circa 0,50 m da fondo foro. Atteso qualche secondo per la stabilizzazione dei valori visualizzati, si annotano la profondità e le componenti A e B dell'inclinazione locale sul foglio delle letture;
- c) la sonda viene sollevata nella successiva posizione di lettura, distante dalla precedente, una quantità pari all'interasse dei carrelli. Atteso qualche secondo per la stabilizzazione dei valori visualizzati, vengono annotate profondità e letture A e B;
- d) le letture vengono proseguite fino a testa foro completando così il ciclo;
- e) con le stesse modalità, vengono eseguiti i cicli di letture nelle altre guide: nell'ordine 3-2-4, avendo annotato i valori sul foglio di lettura.

### D. Manutenzione

Periodicamente (almeno ogni 6 mesi) o qualora durante l'esecuzione delle misure se ne riscontrasse la necessità, si deve procedere ad un lavaggio dei tubi per rimuovere eventuali incrostazioni o depositi di materiale sul fondo. Il lavaggio deve essere effettuato con un tubo idoneo ad un getto di acqua a bassa pressione.

Inoltre si deve porre attenzione alla manutenzione della testa dei tubi, perché non subisca danneggiamenti per urti o schiacciamenti che precludano l'accesso della sonda o possano invalidare l'eventuale riferimento topografico realizzato a testa tubo.

### E. Documentazione

Al termine dell'installazione e della prima serie di misure (lettura "zero") e comunque dopo ogni serie di misure entro 15 giorni dalla loro effettuazione dovrà essere consegnata a RFI la seguente documentazione:

- planimetria con ubicazione tubo e orientamento esatto guida 1 rispetto al Nord geografico;

- eventuali coefficienti di correlazione applicati alla strumentazione utilizzata in fase di rilevazione dati;
- lista dei dati originali rilevati con l'indicazione dello scostamento rispetto alla media teorica e degli spostamenti massimi e minimi;
- elaborazione dati rispetto alla lettura di riferimento, secondo il passo con cui è stata effettuata la misura stessa ed elencazione numerica, al decimo di millimetro, degli spostamenti assoluti, dei relativi azimut riferiti alla guida 2 e delle componenti di spostamento parziale lungo l'asse x (guida 1-3) e lungo l'asse y (guida 2-4);
- indicazione di eventuali coefficienti di correlazione applicati in fase di elaborazione per l'eliminazione degli errori sistematici;
- elaborazioni grafiche con disegni in linea continua ed in scala appropriata agli ordini di grandezza riscontrati degli spostamenti, dei relativi azimut e delle componenti di spostamento x e y;
- copia del certificato di taratura della sonda usata.

Al termine dell'ultima serie di misure (entro 30 giorni):

- elaborazioni grafiche comparative per ogni singolo tubo, con disegno in linea continua ed in scala appropriata agli ordini di grandezza riscontrati, riportanti contemporaneamente sui singoli elaborati le curve di spostamento, di azimut e delle componenti di spostamento lungo le direzioni x e y, di tutte le letture effettuate, in modo da evidenziare le eventuali differenze nel tempo.

### **Assestimetro elettromagnetico verticale a tubo corrugato**

#### Generalità

Si tratta di uno strumento, installato all'interno di un foro di sondaggio, in grado di determinare a varie quote l'entità dei cedimenti nel tempo dei terreni in profondità.

#### A. Strumentazione

La strumentazione è generalmente costituita da:

- un tubo parete in PVC deformabile corrugato lungo la sua lunghezza ( $\varnothing_{est} = 50\div 85$  mm, spessore  $\geq 1$  mm), filettato all'estremità e fornito generalmente in spezzoni o in continuo con una punta da avvitare nell'estremità inferiore;
- anelli magnetizzati installati coassialmente ed esternamente al tubo parete e resi solidali al terreno circostante grazie ad alette o molle in grado di garantire un sicuro ammorsamento nel terreno;
- un tubo guida in duralluminio ( $\varnothing_{est} = 25\div 33$  mm) in spezzoni di 1,5÷3,0 m filettati alle estremità, fissato solo superiormente (onde garantirne verticalità e rettilineità) tramite un anello di sospensione ad un tubo di testa a sua volta fissato al terreno tramite apposita gabbia di ancoraggio.

#### B. Installazione

##### B1. Controlli ed operazioni preliminari

Prima dell'inizio della posa in opera:



- a) verifica che i tubi e gli anelli magnetizzati non presentino lesioni o schiacciamenti soprattutto nelle parti terminali;
- b) verifica che le estremità dei tubi e degli anelli non presentino sbavature tali da compromettere il buon accoppiamento di tubi e lo scorrimento della sonda di misura;
- c) verifica dell'efficienza del tubo per l'iniezione della miscela di cementazione dalla valvola di fondo;
- d) verifica del corretto montaggio della valvola di fondo;
- e) controllo e preparazione dei componenti per la realizzazione della miscela di cementazione;
- f) controllo degli utensili e degli accessori per l'installazione;
- g) verifica quota fondo foro.

### B2. Modalità esecutive

La posa in opera della strumentazione deve essere eseguita con le seguenti modalità:

- accoppiamento degli spezzoni tramite la filettatura;
- avvitamento della punta terminale all'estremità inferiore del tubo parete corrugato;
- inserimento di questo nel foro di sondaggio rivestito;
- inserimento del tubo guida all'interno del tubo parete e suo fissaggio superiore;
- graduale sollevamento del rivestimento del sondaggio con progressivo riempimento del foro con ghiaietto;
- posa in opera di uno strato di sabbia e sollevamento del rivestimento poco al di sopra (circa 30 cm) della quota prevista per il primo anello magnetico;
- controllo profondità foro;
- inserimento tramite apposito strumento guida del primo anello magnetico (le molle devono aderire al terreno al di sotto dell'estremità inferiore dei tubi di rivestimento);
- riempimento dell'intercapedine con miscela acqua-cemento-bentonite con caratteristiche tali da riprodurre quelle dei terreni circostanti;
- sollevamento del rivestimento fino alla successiva posizione con riempimento del foro mediante sabbia;
- ripetizione successiva delle operazioni per tutti gli anelli previsti;
- realizzazione del blocco di ancoraggio al terreno e fissaggi definitivi, controllo preliminare della strumentazione.

Il numero di anelli magnetizzati e la loro profondità di posa deve essere preventivamente concordata con RFI.

### C. Misure

La misurazione avviene tramite sondina manuale con un cavo metrato alla cui estremità è posizionato un puntale che emette un segnale acustico e/o luminoso a contatto con il campo magnetico prodotto da ciascun anello.

Le letture vengono eseguite con le seguenti modalità:

- calaggio della sondina nel tubo guida svolgendo lentamente il cavo;
- nel momento dell'emissione del segnale acustico rialzare leggermente il cavo e riabbassarlo nuovamente annotando la quota relativa sul cavo;

- ripetere la misurazione per almeno 4 volte e mediare il risultato ottenuto (o comunque fino al raggiungimento di una precisione di  $\pm 2$  mm)

La quota assoluta della testa dell'assestometro dovrà essere rilevata mediante livellazione di precisione con frequenza di rilievo da definire con RFI. Il rilievo, comunque, dovrà essere eseguito ogniqualvolta si effettuano operazioni di variazione di quota della testa tubo di riferimento.

#### D. Manutenzione

Periodicamente (almeno ogni 6 mesi) o qualora durante l'esecuzione delle misure se ne riscontrasse la necessità, si deve procedere ad un lavaggio dei tubi per rimuovere eventuali incrostazioni o depositi di materiale sul fondo. Il lavaggio deve essere effettuato con un tubo idoneo ad un getto di acqua a bassa pressione.

Inoltre si deve porre attenzione alla manutenzione della testa dei tubi, perché non subisca danneggiamenti per urti o schiacciamenti che precludano l'accesso della sonda o possano invalidare l'eventuale riferimento topografico realizzato a testa tubo.

#### E. Documentazione

Al completamento delle operazioni dovranno essere riportate nel documento stratigrafico del sondaggio tutte le informazioni generali e le letture effettuate comprendenti:

- informazioni generali (profondità, quota boccaforo slm etc.);
- caratteristiche dei tubi installati;
- schema geometrico di installazione con indicate quote assolute e relative degli anelli magnetici.

Inoltre:

- entro 15 giorni dall'installazione dell'assestometro, un grafico con l'esatta indicazione delle caratteristiche e delle misure del dispositivo installato nonché una tabella con i dati relativi alla misura base;
- entro 15 giorni da ogni misura, gli stessi elaborati di cui al punto precedente più l'andamento degli assestamenti rilevati posti anche in diretto raffronto con i precedenti rilievi mediante tabelle e grafici.

### **Assestometro a piastra**

#### Generalità

L'assestometro a piastra viene installato per valutare l'evoluzione nel tempo dei cedimenti del terreno, sollecitato da carichi, in genere in corrispondenza di rilevati e opere in terra di nuova realizzazione.

#### A. Strumentazione

L'assestometro a piastra è costituito da una piastra in calcestruzzo o ferro, munita di aste rigide prolungabili su cui eseguire periodicamente le livellazioni di precisione.

La piastra in calcestruzzo dovrà avere dimensioni di 60x60 cm e spessore 10 cm; dovrà essere opportu-

namente armata per evitare deformazioni o fessurazioni e la sua base dovrà essere perfettamente piana.

La piastra in ferro, di dimensioni 60x60 cm e spessore 1 cm, sarà rinforzata lungo le diagonali per evitare eventuali deformazioni.

Al centro delle piastre sarà fissato o saldato l'anello di avvitamento dell'asta rigida di misura consistente in un tubo filettato da 1" in modo tale che l'asta sia perfettamente perpendicolare alla base della piastra.

L'asta di misura sarà protetta da un rivestimento, metallico o plastico, di diametro non inferiore a 60 mm, tenuto in posizione coassiale rispetto all'asta stessa mediante un anello di invito fissato alla piastra assestimetrica.

#### B. Installazione e modalità esecutive

Per la posa in opera della piastra si dovrà eseguire uno scavo fino ad una profondità di 1 m circa dal piano campagna; il fondo dello scavo sarà livellato con sabbia compattata in modo da ottenere una superficie orizzontale su cui sarà posata la piastra.

L'asta di misura, avvitata alla piastra, dovrà risultare perfettamente verticale.

Attorno all'asta verrà posto il tubo di rivestimento che non dovrà poggiare sulla piastra.

Con il procedere della costruzione del rilevato, si dovrà prolungare l'asta di misura, avvitando tubi successivi da 1" , ed il rivestimento di protezione.

Per evitare possibili danneggiamenti causati dai mezzi di cantiere, il sistema asta di misura-rivestimento dovrà essere esternamente protetto con tubi prefabbricati in cemento, del diametro di 50÷56 cm (20" ÷22") e l'intercapedine tra il tubo ed il rivestimento di protezione dell'asta di misura dovrà essere riempita a mano.

L'asta di misura ed il rivestimento dovranno sporgere di poco dal piano campagna.

Il rivestimento in sommità dovrà essere munito di un coperchio con lucchetto a protezione dell'asta di misura.

La testa dell'asta di misura dovrà sporgere dal rivestimento, tolto il coperchio, per consentire le misure topografiche di controllo.

#### C. Misure

Dopo l'installazione si eseguirà una misura topografica di controllo, a distanza di qualche giorno dalla posa, per determinare la quota di zero della piastra.

I cedimenti saranno misurati con uno strumento ottico di precisione, con l'approssimazione di 1 mm, riferito ad un caposaldo fisso.

#### D. Documentazione

Al completamento dell'installazione dell'assestimetro dovrà essere consegnata la seguente documentazione:

- a) Descrizione generale (progetto, ubicazione dello strumento, data di installazione etc...);
- b) caratteristiche del terreno di appoggio della piastra;
- c) caratteristiche e schema di installazione dell'assestimetro;
- d) quota assoluta della piastra e dell'estremità superiore del tubo di prolungamento;
- e) misura di zero;

Entro quindici giorni da ogni campagna di misura, dovranno essere consegnati per ciascun assestimetro:

- a) tabulato con le letture di campagna contenente la differenza delle varie misure di controllo rispetto alla misura di zero;
- b) grafico cedimento/tempo.

### **Assestimetro orizzontale a cella idraulica**

#### Generalità

L'assestimetro orizzontale idrostatico è composto da un tubo flessibile, installato orizzontalmente, all'interno del quale viene inserita una sonda idrostatica piena di liquido le cui variazioni di altezza sono funzione della deformata del tubo stesso e di conseguenza dei cedimenti del terreno al suo intorno.

#### A. Strumentazione

Il tubo flessibile da porre in sito avente diametro di 2" è costituito da polietilene ad alta densità.

La sonda di misura è costituita da un cilindro di acciaio ( $\varnothing_{est} = 32$  mm) con trasduttore di pressione; viene collegata all'esterno con un cavo metrato in nylon riempito di liquido apposito (acqua distillata o soluzione di acqua distillata e etilenglicole).

Il cavo viene avvolto in apposito avvolgicavo all'interno del quale è posizionato il serbatoio del liquido nonché la centralina di misura.

#### B. Installazione

##### B1. Controlli ed operazioni preliminari

Prima dell'inizio della posa in opera:

- a) verifica che il tubo non presenti lesioni o schiacciamenti soprattutto nelle parti terminali;
- b) verifica che le estremità del tubo non presenti sbavature tali da compromettere lo scorrimento della sonda di misura;
- c) controllo degli utensili e degli accessori per l'installazione;

##### B2. Modalità esecutive

La posa in opera della strumentazione deve essere eseguita con le seguenti modalità:

- preparazione di apposita trincea e suo livellamento;
- posizionamento del tubo orizzontalmente nel terreno;
- riempimento con materiale idoneo adatto (sabbia o altro) tale da garantire la deformazione uniforme al terreno circostante una volta realizzata la sovrastruttura della quale si vogliono misurare i cedimenti ;
- realizzazione di due blocchetti in calcestruzzo alle estremità del tubo ai quali il tubo stesso viene vincolato ma in modo da poter scorrere;
- messa in opera di tasselli di riferimento sui blocchetti;
- inserimento di tappi di protezione;
- rilievo topografico dei blocchetti di calcestruzzo e della sovrastruttura durante i vari stadi di costruzione.

### C. Misure

Le letture devono essere rilevate lungo il tubo e rapportate ai tasselli di riferimento esterni in modo da potere tracciare un profilo completo delle deformazioni.

La risoluzione del sistema è pari a 0,01 m mentre il campo di esercizio va da -5 a +5 m rispetto al livello di riferimento.

Dopo avere eseguito il rilievo topografico dei blocchi di calcestruzzo e della sovrastruttura, una volta raggiunto l'equilibrio termico dell'insieme, è necessario procedere alla calibratura del sistema attraverso una apposita base di misura adiacente al foro del tubo assestometrico; ciò avviene inserendo la sonda in due fori aventi dislivello noto.

Dopo avere inserito la sonda nel tubo le misurazioni saranno eseguite a distanze regolari predeterminate con il cavo metrato.

### D. Documentazione

Al completamento delle operazioni dovranno essere consegnati i seguenti elaborati:

- a) entro quindici giorni dall'installazione dell'assestometro, un grafico con l'esatta indicazione delle caratteristiche e delle misure del dispositivo installato nonché una tabella con i dati relativi alla misura di base;
- b) entro quindici giorni da ogni misura, gli stessi elaborati di cui al punto precedente più gli elementi, tabellati e graficati, degli assestamenti rilevati posti anche in diretto raffronto con i precedenti rilievi.

## **Estensimetro a cavo**

### Generalità

Si tratta di cavi, appositamente ancorati ad una estremità e dotati di contrappeso all'altra, atti a misurare spostamenti relativi rispetto ad un punto di riferimento fisso.

Normative e raccomandazioni di riferimento:

- ISRM (1978) - "Suggested Methods for Monitoring Rock Movements using Borehole Extensometers".

### A. Strumentazione

I cavi saranno in materiale invar o altro dotato di una minima sensibilità in relazione a variazioni di temperatura. In ogni caso il sistema dovrà essere dotato degli accorgimenti necessari per individuare, e quindi annullare per via analitico - interpretativa o automatica, la presenza di variazioni nella lunghezza dei cavi in seguito alle variazioni di temperatura del materiale.

### B. Installazione

I cavi dovranno essere collegati in testa ad una struttura di sostegno da realizzarsi preventivamente e posti in tensione attraverso un sistema di pesi e carrucole.

Il volume di roccia da sottoporre a controllo, il numero e la lunghezza dei cavi, la loro disposizione e i punti di ancoraggio, dovranno essere approvati da RFI.

### C. Misure

Eventuali allungamenti o accorciamenti saranno letti su una apposita scala graduata che ne amplifichi i valori almeno di un fattore 10 e che consenta la loro valutazione con una precisione variabile dal millimetro al centimetro per lunghezze dei cavi da 10 a 100 m rispettivamente. La frequenza delle misure da eseguire dovrà essere approvata da RFI.

### D. Documentazione

Entro 15 giorni dall'esecuzione delle misure dovrà essere consegnata una relazione con la documentazione relativa alla misura effettuata così composta:

- dati di individuazione dell'estensimetro oggetto della misura;
- data ed ora di effettuazione della misura;
- indicazione delle temperature medie esterne, del sistema degli estensimetri e della roccia al momento della lettura;
- lista dei dati originali rilevati in campagna;
- elaborazione e graficizzazione dei dati rispetto alla lettura di riferimento;
- indicazioni di eventuali correzioni effettuate per l'eliminazione per via analitico-interpretativa degli errori sistematici.

Entro 30 giorni dall'esecuzione dell'ultima serie di misure, dovrà essere consegnata una relazione conclusiva comprendente, oltre quanto sopra detto relativamente ad ogni singola lettura, elaborazioni e graficizzazioni comparative e riassuntive di tutte le misure effettuate.

## **Estensimetro a barra**

### Generalità

Tale strumento viene utilizzato per la misura dello spostamento relativo, in roccia o nel terreno tra uno (estensimetro monobase) o più (estensimetro multibase) punti in profondità ed un riferimento in superficie, attraverso aste messe in opera all'interno di un foro di perforazione.

Gli spostamenti possono essere misurati elettricamente mediante un trasduttore di spostamento o manualmente mediante comparatore centesimale.

Normative e raccomandazioni di riferimento:

- ISRM (1978) - "Suggested Methods for Monitoring Rock Movements using Borehole Extensometers".

### A. Strumentazione

#### A1. Estensimetri monobase

Gli strumenti devono essere costituiti da un riferimento fisso, installato in profondità, all'interno di perforazioni appositamente realizzate cui è collegata una batteria di aste e da un riferimento mobile in superficie. I movimenti del riferimento (cedimento) devono essere rilevati per mezzo di un trasduttore elettrico di spostamento e/o da un comparatore centesimale. Gli strumenti devono essere realizzati in modo tale da permettere di variare la quota del riferimento di superficie a seguito di operazioni di scavo e/o rinterro.

- **Ancoraggi profondi:** a piastra, ad asta da cementare o altro costituita da acciaio inossidabile.

- **Aste di riferimento:** in invar o acciaio inossidabile aventi diametro di 10 mm e lunghezza di 3 m.
- **Guaine di protezione:** in acciaio zincato con diametro di 1" 1/4 e lunghezza di 3 m . Il terminale di fondo della guaina deve essere costituito da una bussola con guarnizioni di tenuta O-Ring che consentono il libero scorrimento dell'asta di riferimento e la tenuta idraulica della guaina di protezione.
- Giunzione con manicotti in acciaio zincato ed anelli centratori in teflon o bronzo.
- **Teste di riferimento:** in acciaio inossidabile, acciaio verniciato o alluminio.
- Predisposizione per montaggio trasduttore di spostamento e comparatore centesimale.
- **Trasduttori di spostamento:**
  - Campo di misura tipico :  $\pm 20, \pm 50$  mm
  - Risoluzione : 0,05 mm
  - Precisione tipica : compresa tra 0,5 ed 1% fondo scala
  - Principio di funzionamento : potenziometrico, LVDT, od altro
  - Coefficiente di deriva termica : non superiore a 0,03% fondo scala/°C
  - Campo di temperatura :  $-10^{\circ}\text{C} \div +50^{\circ}\text{C}$
  - Grado di protezione : IP 65.
- **Comparatori centesimali:**
  - Campo di misura tipico : 20, 50 mm
  - Risoluzione tipica : 0,01 mm
  - Precisione tipica : 0,1 mm

### A1.1 Installazione

#### Controlli ed operazioni preliminari

Prima dell'inizio della posa in opera devono essere eseguiti i seguenti controlli:

- a) controllo visivo dell'integrità e rispondenza dei componenti alle specifiche;
- b) verifica funzionale degli strumenti di misura e degli accoppiamenti tra i vari componenti;
- c) verifica dell'identificazione della verticale di misura.

#### Modalità esecutive

La posa in opera deve essere eseguita secondo le seguenti modalità:

- a) lavaggio della perforazione con acqua dolce pulita;
- b) preparazione dei componenti le aste di riferimento e delle guaine di protezione in spezzoni di lunghezza idonea a realizzare l'installazione;
- c) montaggio dell'elemento di fondo composto da: ancoraggio di fondo, primo elemento della guaina di protezione (dotata dell'elemento di tenuta idraulica) e dalla prima asta di riferimento;
- d) preparazione dei materiali necessari all'installazione: miscela cementizia, tubo di iniezione, materiale di riempimento, materiali isolanti per la giunzione delle guaine;
- e) fissaggio all'ancoraggio del tubo di iniezione;
- f) montaggio di successivi spezzoni (2-3 m) all'asta di riferimento della guaina;
- g) inserimento dell'ancoraggio nella perforazione e calaggio fino a fondo, aggiungendo progressivamente spezzoni di aste di riferimento e di guaine;

- h) cementazione dell'ancoraggio, rimozione del tubo di iniezione;
- i) riempimento della perforazione con materiale idoneo;
- j) installazione della testa di misura;
- k) montaggio del trasduttore di spostamento o del comparatore centesimale.

Nei 5 giorni successivi all'installazione deve essere eseguita almeno 1 lettura al giorno al fine di controllare che i cedimenti conseguenti all'installazione non siano di entità tale da ridurre il campo di misura al di sotto del valore minimo previsto per i cedimenti a lungo termine. Eventualmente si deve procedere ad un "recupero" della corsa dello strumento interponendo tra la testa di misura ed il trasduttore di spostamento appositi distanziatori.

### A2. Estensimetri multibase

Gli estensimetri multibase rilevano le variazioni della distanza (deformazione) fra la testa di riscontro ed i punti di ancoraggio distribuiti all'interno di una perforazione.

L'estensimetro multibase deve essere composto da:

- ancoraggi da posizionarsi a diverse profondità entro un foro di perforazione. Ogni ancoraggio deve essere solidale con una base in acciaio inossidabile, invar o fibra di vetro;
- basi di riferimento in invar, acciaio inossidabile o fibra di vetro, composte da spezzoni opportunamente collegati, per invar o acciaio inossidabile, o da elementi continui per la vetroresina. Le basi devono avere il compito di riportare a boccaforo gli spostamenti dei rispettivi ancoraggi, esse sono libere di scorrere entro il foro, essendo contenute in guaine di protezione;
- tubetti di nylon per la cementazione delle basi in foro;
- testa di riferimento e misura, sulla quale devono trovare sede i raccordi per le basi di riferimento e per le guaine di protezione, i raccordi per i tubetti di cementazione ed i riferimenti per gli apparecchi di misura (comparatori e/o trasduttori lineari di spostamento aventi un campo di misura tipico compreso tra 20 e 100 mm).

#### A2.1. Installazione

Il montaggio e l'installazione dello strumento a basi in acciaio o invar devono avvenire secondo la procedura di seguito elencata:

- a) calzare uno spezzone di tubo di para (15 cm circa) sul codolo dell'ancoraggio inferiore fascettandolo;
- b) avvitare il primo spezzone di base estensimetrica all'ancoraggio inferiore;
- c) calzare un manicotto sul terminale della base di misura a cavallo della guaina di rivestimento, premontata sulla base estensimetrica;
- d) avvitare un altro spezzone di base estensimetrica;
- e) fissare sulle basi così preparate un tubo di nylon per la cementazione, fissandolo con nastro in più punti;
- f) ripetere le operazioni fin qui descritte per le eventuali altre basi estensimetriche;
- g) inserire le basi nel foro di perforazione, eventualmente sostenendole;
- h) proseguire con il prolungamento dello strumento direttamente in foro, inserendo ad intervalli di circa due metri i centratori ed alternando a questi robuste nastrature;
- i) riprendere le operazioni fino a completare l'installazione;
- j) lasciare che l'estensimetro sporga di circa un metro dalla parete;



- k) montare su ogni base l'ancoraggio superiore;
- l) applicare uno strato di cemento a presa rapida intorno alla bocca del foro e quindi posizionare la testa dello strumento a contatto con la parete, inserendo i bulloni nelle apposite sedi;
- m) fissare la testa di misura alla parete serrando i bulloni;
- n) svitare i tappi di protezione dei raccordi di iniezione (maschi 3÷6") o collegarsi ai raccordi di utilizzo con la tubazione di mandata della miscela cementizia. Per la cementazione sono previsti due metodi esecutivi in funzione della posizione dello strumento stesso:
  - 1. per estensimetri installati verso l'alto, l'iniezione deve procedere dal tubetto più corto fino a quello più lungo. L'iniezione dall'interno del primo tubetto deve proseguire fino al momento in cui fuoriesce malta dal tubetto intermedio; quindi si deve riprendere l'iniezione da quest'ultimo, dopo avere rimesso il tappo a quello precedente, fino alla fuoriuscita di malta dal tubetto più lungo;
  - 2. per estensimetri installati verso il basso, si deve procedere iniettando la malta cementizia dal tubetto più lungo. In questo caso, se non si verificano inconvenienti durante l'iniezione si deve vedere fuoriuscire malta, contemporaneamente dagli altri due tubetti.

E' buona norma non iniettare a pressioni superiori a quelle necessarie al riempimento del foro, onde evitare l'apertura di eventuali fratture esistenti.

Terminata la cementazione si dovranno richiudere tutti i raccordi di iniezione con i relativi tappi e attendere che la miscela faccia presa.

Il montaggio degli strumenti deve ancora essere preceduto dalla regolazione fine della lunghezza di ciascuna base estensimetrica, in modo da ottenere una misura di riferimento prestabilita (es. metà corsa del comparatore o del trasduttore); le operazioni di regolazione devono essere effettuate nel seguente modo:

- 1. svitare il tappo di protezione della base;
- 2. montare lo strumento di misura (trasduttore elettrico o comparatore meccanico) ed effettuare la lettura;
- 3. smontare lo strumento e regolare la posizione della vite sull'astina di riferimento. In questa fase, si presti attenzione a non applicare sforzi di compressione sull'astina;
- 4. rimontare lo strumento e controllare che la misura sia quella desiderata: se così non è, ripetere le operazioni.

E' bene effettuare la vera misura iniziale "di zero" a completa maturazione della malta di iniezione. Se necessario, la posizione delle astine può essere ancora ripresa. Nel caso di utilizzo di trasduttori elettrici (fissi), l'installazione dell'estensimetro deve essere ultimata montando sulla testa la custodia cilindrica di protezione meccanica, non necessaria invece nel caso di comparatore centesimale (removibile).

Se lo strumento di misura è costituito da un comparatore meccanico removibile, si dovrà controllarne la taratura, prima di ogni campagna di misure di esercizio, utilizzando l'apposita dima (in dotazione).

Il montaggio e l'installazione degli estensimetri con basi in fibra di vetro devono avvenire seguendo le modalità indicate dal Fornitore. In generale, comunque, poiché le basi devono essere realizzate in elementi di lunghezza prefissata, pari alla profondità di installazione, le operazioni consistono nell'assemblaggio di vari componenti a piè d'opera e nell'inserimento dello strumento nel foro di perforazione.

#### B. Misure

Per la lettura dei trasduttori di spostamento devono essere utilizzate centraline di lettura aventi le seguenti caratteristiche tecniche:

- Display : 4 1/2 digits - LCD

- Risoluzione : 1 digit
- Precisione tipica : % 2 digits
- Coefficiente di deriva termica :  $\leq 0,3$  digit/°C
- Temperatura di utilizzo : 0÷50°C
- Grado minimo di protezione : IP64
- Connettori : stagni IP65
- Alimentazione : con batterie interne ricaricabili
- Autonomia : min. 10 ore

## B1. Estensimetri monobase

### B1.1. Esecuzione delle misure manuali con comparatore

Le letture manuali con il comparatore consisteranno nella annotazione sul foglio di lettura del valore indicato dallo strumento.

Periodicamente, ogni 15 giorni o ogni mese a seconda della frequenza di lettura, si deve togliere la protezione della testa di riferimento dell'estensimetro e procedere all'esecuzione di un controllo funzionale del comparatore con seguenti operazioni:

- sollevare l'astina di riferimento del comparatore per alcuni millimetri ( $< 5$  mm) e lasciarla liberamente, verificando che il valore indicato sia sempre compreso in un intervallo compatibile con la precisione dello strumento;
- interporre tra l'astina del comparatore ed il riferimento di misura uno spessore calibrato (2÷3 mm) e controllare la precisione con cui il comparatore misura tale spessore;
- confrontare tale valore con quello del controllo precedente.

### B1.2. Esecuzione delle misure automatiche con trasduttore elettrico

Le letture automatiche con trasduttore elettrico dovranno prevedere le seguenti modalità operative:

- a) accendere la centralina e verificarne il valore di zero; spegnere la centralina;
- b) collegare la centralina al terminale di lettura e accenderla;
- c) attendere che il valore evidenziato sul display si stabilizzi e comunque per il tempo minimo eventualmente indicato nel manuale d'uso;
- d) annotare il valore rilevato sull'apposito modulo di lettura che deve contenere anche la lettura precedente.

## B2. Estensimetri multibase

### B2.1. Esecuzione delle misure manuali con comparatore

Le letture manuali con comparatore devono essere eseguite secondo le seguenti modalità:

- verificare il valore di riferimento del comparatore (valore di zero) mediante l'apposita dima di riscontro ed annotare il valore;
- posizionare il comparatore sulla base di misura ed annotare il valore indicato;
- rimuovere il comparatore e ripristinarlo sulla base; annotare il nuovo valore. Verificare la corrispondenza delle due letture. In caso di divergenza superiore a 0,1 mm verificare che non vi sia presenza di sporco sul comparatore o sulla base e che i riferimenti di misure siano integri e correttamente montati. Quindi ripetere la misura fino a che non si ottengono valori ripetitivi.

### B2.2. Esecuzione delle misure automatiche con trasduttore elettrico

Le letture automatiche con trasduttore elettrico dovranno prevedere le seguenti modalità operative:

- a) accendere la centralina e verificarne il valore di zero; spegnere la centralina;
- b) collegare la centralina al terminale di lettura e accenderla;
- c) attendere che il valore evidenziato sul display si stabilizzi e comunque per il tempo minimo eventualmente indicato nel manuale d'uso;
- d) annotare il valore rilevato sull'apposito modulo di lettura che deve contenere anche la lettura precedente.

### C. Documentazione

Entro 15 giorni dall'esecuzione delle misure dovrà essere consegnata una relazione con la documentazione relativa alle misure effettuate così composta:

- dati di individuazione dell'estensimetro oggetto di misura;
- data ed ora di effettuazione della misura;
- indicazioni sulla temperatura media esterna, del sistema di estensimetri e della roccia al momento della lettura;
- lista dei dati originali rilevati in campagna;
- elaborazione e graficizzazione dei dati rispetto alla lettura di riferimento;
- indicazione di eventuali correzioni effettuate per l'eliminazione per via analitico-interpretativa degli errori sistematici.

Entro 30 giorni dall'esecuzione dell'ultima serie di letture, dovrà essere consegnata una relazione conclusiva comprendente, oltre quanto sopra detto relativamente ad ogni singola lettura, elaborazioni e graficizzazioni comparative e riassuntive di tutte le misure effettuate.

## **Estensimetro incrementale**

### Generalità

Tale strumento è utilizzato per il rilievo delle deformazioni di un ammasso attraverso la misura di precisione lungo l'asse di un foro degli spostamenti assiali relativi di una serie di basi di misura.

L'estensimetro incrementale può essere ad accoppiamento meccanico o ad accoppiamento elettromagnetico.

### A. Strumentazione

Il sistema è costituito da:

- una sonda estensimetrica portatile completa di cavo;
- una centralina di controllo e di lettura;
- un set di aste e di accessori per il posizionamento della sonda nel foro;
- tubi guida ed anelli di riferimento.

#### A.1. Sonda estensimetrica

Le caratteristiche tecniche di base della sonda dovranno essere le seguenti:

- base di misura : 1 m
- campo di misura :  $\pm 5$  mm;  $\pm 10$  mm;  $\pm 20$  mm
- precisione :  $\pm 0,02$  mm
- sensibilità :  $0,001 \div 0,01$  mm
- campo di temperatura :  $- 5^\circ \div + 50^\circ$  C

Nella sonda estensimetrica ad accoppiamento meccanico può essere presente un inclinometro per il rilievo delle deformazioni, nei fori verticali, secondo due direzioni normali all'asse del foro.

#### A.2. Centralina e cavo di misura

La centralina di misura dovrà avere le seguenti caratteristiche minime:

- lettura massima : 19999 digits
- temperatura operativa :  $- 5^\circ \div + 70^\circ$  C
- batterie : 12 V - 5,7 Ah

Le batterie dovranno essere preferibilmente di tipo ricaricabile e dovranno avere un tempo di operatività di almeno  $5 \div 10$  ore.

Il cavo elettrico di collegamento tra la sonda estensimetrica e la centralina di misura dovrà essere costituito da rame perfettamente isolato con rivestimento in poliuretano e con protezione in kevlar.

Pur possedendo caratteristiche di inestensibilità o comunque di ridotta estensibilità, il cavo elettrico non dovrà essere utilizzato per il posizionamento della sonda nei tubi guida scanalati onde evitare al massimo errori di lettura.

#### A.3. Aste per il posizionamento della sonda

Le aste dovranno avere una lunghezza unitaria pari a 2 m e diametro adeguato alle dimensioni della sonda utilizzata.

La giunzione dei diversi segmenti di aste dovrà permettere il perfetto posizionamento della sonda estensimetrica all'interno del tubo guida.

#### A.4. Tubo guida ed anelli di riferimento

Il tubo guida dovrà essere in PVC o ABS con diametro adeguato alle dimensioni della sonda estensimetrica adottata.

Gli anelli di riferimento (cioè di lettura) dovranno essere posti ad intervallo standard di 1 m .

Nell'estensimetro ad accoppiamento meccanico il tubo in PVC è munito di ancoraggi anulari in acciaio inossidabile che sono collegati telescopicamente e sono resi solidi al terreno mediante iniezioni di malta espansiva.

Gli ancoraggi anulari sono dotati di una sede conica che permette l'accoppiamento meccanico con le due teste sferiche della sonda estensimetrica, previa rotazione di  $45^\circ$  della sonda stessa.

Nell'estensimetro ad accoppiamento elettromagnetico il tubo guida è di tipo inclinometrico ed è costituito da un tubo scanalato in ABS all'esterno del quale vengono posizionati gli anelli di riferimento in ottone (o bronzo) resi solidi al terreno mediante cementazione.

Il fissaggio degli anelli di riferimento al tubo guida deve essere tale da garantire il mantenimento della loro

posizione nella fase di installazione dell'estensimetro e nello stesso tempo deve permettere lo scorrimento degli anelli stessi per seguire le deformazioni dell'ammasso circostante nella fase di esercizio.

#### B. Modalità esecutive

Le operazioni di montaggio ed installazione della colonna estensimetrica incrementale richiedono una particolare cura in quanto da esse dipende la possibilità di interpretare in modo corretto i dati numerici desunti dalle letture.

L'installazione deve quindi essere eseguita avendo cura di quanto segue:

- evitare effetti spirale inducendo torsioni alle tubazioni;
- salvaguardare la tubazione da ammaccature, sforzi ecc.;
- accoppiare la tubazione al terreno lungo tutto il suo sviluppo mediante cementazione con miscela adeguata alle caratteristiche dei terreni circostanti.

La cementazione dovrà avvenire a partire dall'estremità del tubo posta a fondo foro; il tubo guida dovrà essere isolato mediante un tappo di fondo che impedisca il refluisce della cementazione all'interno del tubo.

L'estensimetro incrementale può essere installato in fori di sondaggio comunque orientati.

Il diametro della perforazione dovrà essere adeguato al diametro della sonda estensimetrica adottata e comunque non inferiore a mm 56.

Se il foro di sondaggio non trattiene l'acqua, sarà necessario cementare il foro e riperforarlo allo scopo di garantire una corretta installazione della strumentazione.

La perforazione e le operazioni di rivestimento provvisorio del foro devono essere condotte e realizzate con l'obiettivo di provocare il minore disturbo possibile delle condizioni naturali del sottosuolo attorno al perforo evitando franamenti e refluisce in foro.

#### C. Misure

La lettura di "zero" dovrà essere eseguita non prima di 10 giorni dalla cementazione dei tubi di misura.

Prima di ogni serie di misure ed al termine di essere dovrà essere effettuata una misura di calibrazione con l'apposito dispositivo di taratura.

Prima dell'inizio delle misure la sonda di lettura dovrà raggiungere l'equilibrio termico all'interno del foro (in genere 30'); le misure dovranno essere ripetute almeno due volte lungo la stessa verticale ed i valori ottenuti dovranno essere mediati.

#### D. Documentazione

Al termine delle prove dovrà essere consegnata la seguente documentazione:

- a. RELAZIONE CONCLUSIVA contenente tra l'altro:
  - data, luogo, disposizione della strumentazione;
  - descrizione dell'ammasso all'intorno del foro strumentato;
  - tabelle con l'indicazione dei dati rilevati e della loro elaborazione;
  - diagramma con l'indicazione degli spostamenti relativi di ciascuna coppia di anelli adiacenti in funzione della profondità;
  - diagramma con l'indicazione della somma degli spostamenti a partire dalla base più profonda considerata ferma.

## **Estensimetro a corda vibrante**

### Generalità

Gli estensimetri a corda vibrante sono utilizzati per misurare le deformazioni in strutture quali ponti, pali di fondazione, rivestimenti di gallerie ed edifici.

### A. Strumentazione

L'estensimetro è costituito da una corda d'acciaio tesa tra due blocchetti che sono fissati o annegati nella struttura da tenere sotto controllo.

Le due estremità della corda devono essere ancorate in modo tale da assicurare una stabilità costante a lungo termine.

In prossimità della corda è presente una bobina elettromagnetica che produce delle vibrazioni convertite in segnali elettrici di corrente alternata; la frequenza di tali segnali elettrici risulta inversamente proporzionale alla lunghezza della corda.

Il cambiamento dello stato di sforzo della struttura sotto controllo provoca una variazione della lunghezza della corda e di conseguenza una variazione della frequenza del segnale che sarà misurato in microstrain per mezzo di una apposita centralina di lettura digitale.

Gli estensimetri a corda vibrante potranno avere caratteristiche differenti in funzione del tipo di applicazione prevista.

Ciascun estensimetro, comunque, dovrà presentare le seguenti caratteristiche minime:

- campo di rilievo :  $\pm 1500$  microstrain
- temperatura di esercizio :  $-20^{\circ} \div +80^{\circ}$  C

La centralina di lettura digitale dovrà avere le seguenti caratteristiche:

- precisione : 0,001 % fondo scala
- risoluzione : periodo: 0,01 microsecondi  
strain: 1 microstrain
- alimentazione : batteria interna ricaricabile
- autonomia batterie :  $\geq 10$  ore
- temperatura di esercizio :  $-30^{\circ} \div +50^{\circ}$  C

### B. Installazione

Le modalità di installazione variano in funzione del tipo di estensimetro a corda vibrante adottato.

In ogni caso l'estensimetro a corda vibrante dovrà essere dotato di idonea apparecchiatura per il contemporaneo rilievo della temperatura della struttura sotto controllo. Tale temperatura dovrà potere essere letta nella centralina di lettura.

Gli estensimetri a corda vibrante saranno collegati alla centralina di lettura per mezzo di cavi la cui lunghezza deve essere adeguatamente prevista in fase di programmazione dell'installazione delle apparecchiature allo scopo di evitare, successivamente, di ricorrere a giunzioni o prolunghe.

#### B.1. Estensimetro per saldatura a punti

Può essere fissato eventualmente anche con resina epossidica sia al calcestruzzo che all'acciaio.

L'estensimetro è in acciaio inox con un tubicino protettivo mobile assicurato da un O-ring. Una molla interna tiene la corda ad una tensione iniziale il cui valore, di norma, è a metà del campo di misura dello strumento ma può essere facilmente modificato nel corso dell'installazione agendo su una apposita vite di regolazione.

#### B.2. Estensimetro per saldatura ad arco

Viene impiegato per applicazioni su elementi di acciaio o su barre di armatura mediante blocchetti di montaggio.

E' dotato di una molla interna, contenuta in un tubicino mobile di protezione, che serve a tenere la corda ad una tensione iniziale su un valore intermedio rispetto all'intero campo di misura.

#### B.3. Estensimetro per annegamento in calcestruzzo

Utilizzato per misurare le sollecitazioni nel calcestruzzo, questo estensimetro è dotato di ancoraggi piatti alle due estremità. E' possibile, tuttavia, gettare l'estensimetro in briquette di calcestruzzo che, oltre a proteggerlo, dovranno consentire di incorporare l'apparecchiatura nella struttura sotto controllo; in alternativa, tali estensimetri, se richiesto da RFI, dovranno essere gettati in sito.

#### C. Misure

La procedura di lettura dovrà essere la seguente:

- a) accendere la centralina e verificarne il valore di zero; spegnere la centralina;
- b) collegare la centralina al terminale di lettura e accenderla;
- c) attendere che il valore evidenziato sul display si stabilizzi e comunque per il tempo minimo eventualmente indicato nel manuale d'uso;
- d) annotare il valore rilevato sull'apposito modulo di lettura che deve contenere anche la lettura precedente.

#### D. Documentazione

Per ogni estensimetro attrezzato per letture dirette dovranno essere consegnati i seguenti elaborati:

- a) immediatamente dopo ogni misura, a richiesta di RFI, una copia dei dati originali di campagna;
- b) entro 15 giorni dall'esecuzione delle misure una relazione con la documentazione relativa alla misura effettuata, così composta:
  - dati di individuazione dell'estensimetro oggetto della misura;
  - data e ora di effettuazione della misura;
  - indicazione delle temperature medie esterne, dell'estensimetro e della struttura al momento della lettura;
  - lista dei dati originali rilevati in campagna;
  - elaborazione e graficizzazione dei dati rispetto alla lettura "zero" di riferimento;
  - indicazione di eventuali correzioni effettuate per l'eliminazione per via analitico-interpretativa degli errori sistematici.
- c) entro trenta giorni dall'esecuzione dell'ultima serie di letture, una relazione conclusiva comprendente, oltre quanto sopra detto relativamente ad ogni singola lettura, elaborazioni e graficizzazioni comparative e riassuntive di tutte le misure effettuate.

### Fessuometri tridirezionali

Tali strumenti vengono di norma installati a cavallo di lesioni o fratture in corrispondenza di pareti rocciose o in strutture in calcestruzzo e/o muratura al fine di verificare l'evoluzione nel tempo delle suddette discontinuità.

#### A. Strumentazione

Il fessuometro è formato essenzialmente dai seguenti elementi:

- sensore costituito da una barra di acciaio alloggiata in una guaina protettiva di plastica;
- comparatore a lettura manuale con sensibilità pari al almeno 0,001 mm;
- staffe di ancoraggio.

#### B. Modalità esecutive

Le staffe di ancoraggio devono essere fissate, a cavallo della fessura, mediante cementazione all'interno di fori appositamente realizzati.

La lunghezza dei fori ed il diametro delle staffe di ancoraggio dovranno essere tali da garantire un fissaggio stabile e durevole nel tempo.

La posizione delle staffe di ancoraggio deve essere preferibilmente simmetrica rispetto alla discontinuità.

Il sensore a barra dovrà essere fissato ad una estremità a una delle due staffe di ancoraggio; l'altra estremità del sensore a barra (mobile) dovrà essere accoppiata alla seconda staffa di ancoraggio per mezzo di un sistema di contatto che permetta il rilievo delle deformazioni secondo tre direzioni tra loro ortogonali.

#### C. Misure

La misura di "zero" dovrà essere eseguita subito dopo l'installazione della strumentazione dopo avere raggiunto il necessario equilibrio termico con l'ambiente circostante.

In corrispondenza di ogni misura, sia di taratura che operativa, dovrà essere rilevata la temperatura dell'aria, del fessuometro nonché della roccia o della struttura su cui è ancorato lo strumento.

La restituzione dei dati elaborati dalle misure dovrà permettere la ricostruzione dell'andamento delle tre direzioni di spostamento nel tempo; in pratica dovrà essere possibile rilevare l'apertura, lo scorrimento relativo e l'abbassamento delle due parti della lesione o frattura sotto controllo.

#### D. Documentazione

Per ogni fessuometro attrezzato per letture dirette dovranno essere consegnati i seguenti elaborati:

- c) immediatamente dopo ogni misura, a richiesta di RFI, una copia dei dati originali di campagna;
- d) entro 15 giorni dall'esecuzione delle misure una relazione con la documentazione relativa alla misura effettuata, così composta:
  - dati di individuazione del fessuometro oggetto della misura;
  - data e ora di effettuazione della misura;
  - indicazione delle temperature medie esterne, del fessuometro e della roccia al momento della lettura;



- lista dei dati originali rilevati in campagna;
  - elaborazione e graficizzazione dei dati rispetto alla lettura "zero" di riferimento;
  - indicazione di eventuali correzioni effettuate per l'eliminazione per via analitico-interpretativa degli errori sistematici.
- c) entro trenta giorni dall'esecuzione dell'ultima serie di letture, una relazione conclusiva comprendente, oltre quanto sopra detto relativamente ad ogni singola lettura, elaborazioni e graficizzazioni comparative e riassuntive di tutte le misure effettuate.

### **Fessuometri monodirezionali**

#### Generalità

Tali strumenti vengono di norma installati a cavallo di lesioni o fratture in corrispondenza di pareti rocciose o in strutture in calcestruzzo e/o muratura al fine di verificare l'evoluzione nel tempo delle suddette discontinuità.

#### A. Strumentazione

Il fessuometro è formato essenzialmente dai seguenti elementi:

- sensore costituito da una barra di acciaio alloggiata in una guaina protettiva di plastica;
- comparatore a lettura manuale con sensibilità pari al almeno 0,001 mm;
- staffe di ancoraggio.

#### B. Modalità esecutive

Le staffe di ancoraggio devono essere fissate, a cavallo della fessura, mediante cementazione all'interno di fori appositamente realizzati.

La lunghezza dei fori ed il diametro delle staffe di ancoraggio dovranno essere tali da garantire un fissaggio stabile e durevole nel tempo.

La posizione delle staffe di ancoraggio deve essere preferibilmente simmetrica rispetto alla discontinuità.

Il sensore a barra dovrà essere fissato ad una estremità a una delle due staffe di ancoraggio; l'altra estremità del sensore a barra (mobile) dovrà permettere l'accoppiamento con il comparatore di lettura attraverso una boccola di adattamento che dovrà consentire il corretto e stabile inserimento dello strumento di lettura.

#### C. Misure

La misura di "zero" dovrà essere eseguita subito dopo l'installazione della strumentazione dopo avere raggiunto il necessario equilibrio termico con l'ambiente circostante.

In corrispondenza di ogni misura, sia di taratura che operativa, dovrà essere rilevata la temperatura dell'aria, del fessuometro nonché della struttura su cui è ancorato lo strumento.

La restituzione dei dati elaborati dalle misure dovrà permettere la ricostruzione dell'andamento dello spostamento nel tempo evidenziando fenomeni di apertura, chiusura o stabilità della fessura strumentata.

#### D. Documentazione

Per ogni fessurometro attrezzato per letture dirette dovranno essere consegnati i seguenti elaborati:

- a) immediatamente dopo ogni misura, a richiesta di RFI, una copia dei dati originali di campagna;
- b) entro 15 giorni dall'esecuzione delle misure una relazione con la documentazione relativa alla misura effettuata, così composta:
  - dati di individuazione del fessurometro oggetto della misura;
  - data e ora di effettuazione della misura;
  - indicazione delle temperature medie esterne, del fessurometro e della struttura di ancoraggio al momento della lettura;
  - lista dei dati originali rilevati in campagna;
  - elaborazione e graficizzazione dei dati rispetto alla lettura "zero" di riferimento;
  - indicazione di eventuali correzioni effettuate per l'eliminazione per via analitico-interpretativa degli errori sistematici.
- c) entro trenta giorni dall'esecuzione dell'ultima serie di letture, una relazione conclusiva comprendente, oltre quanto sopra detto relativamente ad ogni singola lettura, elaborazioni e graficizzazioni comparative e riassuntive di tutte le misure effettuate.

#### **Stazioni di misura di convergenza**

##### Generalità

Le misure di convergenza vengono eseguite per valutare le variazioni di distanza tra una coppia di punti in scavi in sotterraneo o a cielo aperto.

##### A. Attrezzatura

L'attrezzatura necessaria per l'esecuzione delle misure è costituita da:

- distometro;
- bulloni di convergenza.

##### A.1. Distometro

Il distometro è costituito da:

- una bindella centimetrata in invar montata su telaio;
- un sistema meccanico di tensionamento;
- un comparatore di lettura centesimale;
- un telaio di calibrazione.

Il distometro dovrà presentare le seguenti caratteristiche tecniche minime:

- campo di misura : 1,5 ÷ 15 m  
1,5 ÷ 30 m
- risoluzione : 0,01 mm

- precisione :  $1 \cdot 10^{-5}$  della misura
- materiale del telaio misuratore : acciaio verniciato
- materiale bindella : acciaio inox - invar.

### A.2. Bulloni di convergenza

I bulloni di convergenza sono costituiti da un chiodo in acciaio con protezione galvanica a testa filettata, idonea all'aggancio del distometro.

I chiodi possono avere dimensioni differenti in funzione del diverso campo di applicazione (roccia, centine, muratura, calcestruzzo).

### B. Modalità esecutive e misure

La sequenza operativa sarà la seguente:

- c) perforazione per la messa in posta del bullone;
- d) posizionamento del bullone;
- e) cementazione del bullone e relativa maturazione;
- f) esecuzione delle misure.

Il diametro della perforazione dovrà essere adeguatamente scelto in funzione delle dimensioni del bullone adottato per permettere una sigillatura totale del chiodo stesso.

Una volta eseguita la cementazione, utilizzando malte a presa rapida, si dovrà aspettare almeno 2 (due) ore prima di eseguire le misure per permettere la maturazione del legante.

Il bullone di convergenza potrà essere inserito nel foro secondo due schemi:

- 1) con testa di misura esterna alla superficie di misura e protetta con cappellotto in plastica;
- 2) con testa di misura all'interno della roccia o immersa nel calcestruzzo.

La misura consiste nello stendere la bindella agganciandone le estremità, provviste di snodi sferici, su due chiodi di convergenza. Posizionato il distometro si provvederà al tensionamento della bindella ed alla lettura meccanica sul comparatore.

Per ciascuna coppia di chiodi dovranno essere eseguite almeno tre letture adottando poi il valore medio delle stesse.

La taratura dello strumento dovrà essere eseguita prima di ogni misurazione servendosi dell'apposito telaio di calibrazione in dotazione.

### C. Documentazione

Per ogni serie di misure dovranno essere forniti i seguenti elaborati:

- a. TABELLA DI TUTTE LE MISURE EFFETTUATE e delle medie calcolate;
- b. TABELLA RIEPILOGATIVA di raffronto con le misure medie analoghe eventualmente rilevate in precedenza sulla medesima sezione;
- c. GRAFICO riportante le risultanze delle elaborazioni delle serie di misure rilevate con l'indicazione delle date relativa a ciascuna di esse.

## **Celle di pressione**

### Generalità

Le celle di pressione sono impiegate per il controllo delle pressioni totali nel terreno, nel calcestruzzo, nella roccia e nei punti di interfaccia tra questi materiali.

Normative e raccomandazioni di riferimento:

- ISRM (1980) - "Suggested Methods for Pressure Monitoring Using Hydraulic Cells", Document n° 6

### A. Attrezzatura, modalità esecutive e misure

La cella di pressione è costituita da due sottili lastre in acciaio saldate ai bordi al cui interno è contenuto un fluido in pressione, che varia a seconda delle applicazioni.

Per misure in terreni si adatterà l'olio idraulico mentre per installazioni in roccia o calcestruzzo (o al contatto tra essi ed il terreno) si adopererà il mercurio.

La pressione esercitata dal terreno agisce sull'elemento sensibile della cella e viene trasmessa mediante il fluido ad un trasduttore a diaframma dove è bilanciata dalla pressione idraulica o pneumatica generata da un'apposita centralina di lettura.

Le misure possono essere rilevate con un manometro o con un trasduttore di pressione elettrico.

Il tipo di cella dovrà essere scelto in funzione del campo di pressione previsto in sito:

- 0 ÷ 15 bar;
- 0 ÷ 50 bar;
- 0 ÷ 200 bar.

Particolare cura andrà posta nella messa in opera di celle di pressione nel calcestruzzo in quanto si deve tenere presente che la cella di pressione è soggetta ad espansione termica per effetto del calore liberato nel processo di idratazione del calcestruzzo; una volta che il calcestruzzo si assesta e la temperatura si riduce, la cella subisce una contrazione tale da creare un piccolo spazio vuoto tra la cella stessa ed il calcestruzzo intorno. Per eliminare tale problema si dovranno impiegare celle munite di tubo di ripressurizzazione che permetta il ripristino del contatto cella-calcestruzzo; tale operazione dovrà essere eseguita al termine del raffreddamento del calcestruzzo e con l'ausilio di una particolare attrezzatura di ricarica dotata di manometro.

### B. Documentazione

Al completamento delle rilevazioni dovranno essere consegnati i seguenti documenti:

- a) GRAFICO in scala opportuna riportante l'indicazione della posizione di ciascuna cella;
- b) ELABORATO GRAFICO E TABELLARE riportante i valori rilevati e la relativa elaborazione;
- c) UNA RELAZIONE RIEPILOGATIVA con nota interpretativa delle misure rilevate.

## **Martinetto piatto**

### Generalità

La prova si esegue in parete, sia su strutture in cls o in muratura sia su masse rocciose, inserendo in una

fessura praticata nel fronte dell'ammasso roccioso un martinetto piatto, da espandere fino a riportare la roccia o la struttura circostante nelle medesime condizioni tensionali precedenti lo scavo della fessura stessa misurandone lo sforzo necessario. Dalla misura si ricavano le caratteristiche di deformabilità e lo stato di sollecitazione esistente nella roccia o nella struttura.

Normative e raccomandazioni di riferimento:

- ASTM D4729-87 (1997). Standard Test Method for In Situ Stress and Modulus of Deformation Using the Flatjack Method.

#### A. Attrezzatura

Per l'esecuzione della prova si devono utilizzare le seguenti attrezzature ed apparecchiature:

- a) n.1 pompa ad azionamento manuale;
- b) n.2 estensimetri meccanici rimovibili o trasduttori elettrici di spostamento con sensibilità di 0,01 mm;
- c) martinetti piatti in grado di sopportare una pressione di almeno 6 MPa;
- d) attrezzatura di taglio a disco diamantato o un perforatore a rotopercolazione con guida fioretto.
- e) n.1 calcolatore portatile e stampante;

#### B. Modalità esecutive

La tecnica di prova si basa sulla variazione dello stato tensionale in un punto della struttura provocata da un taglio piano di limitate dimensioni, eseguito in direzione normale alla superficie della struttura. Il rilascio delle tensioni provoca una parziale chiusura del taglio che viene rilevata tramite misure di convergenza fra coppie di punti posti in posizione simmetrica rispetto al taglio stesso. Viene quindi inserito all'interno del taglio uno speciale martinetto piatto, delle stesse dimensioni del taglio, realizzato mediante sottili lamiere di acciaio saldate, la cui pressione interna dell'olio viene gradualmente aumentata fino ad annullare la deformazione misurata in fase di esecuzione del taglio. In queste condizioni la pressione all'interno del martinetto è uguale alla sollecitazione preesistente nella struttura in direzione normale al piano del martinetto, a meno di una costante sperimentale che tiene conto del rapporto tra l'area del martinetto e l'area del taglio e della rigidità intrinseca di ogni martinetto.

Con riferimento ad un martinetto di tipo "piccolo" le prove dovranno essere eseguite preferibilmente con martinetto piatto di forma semicircolare con raggio di curvatura pari a 170 mm e superficie > 600 cmq, profondità non inferiore a 250 mm e spessore pari a almeno a 3,5-4 mm. Il taglio dovrà essere effettuato mediante attrezzature dotata di disco diamantato che consenta di eseguire, mediante traslazione, tagli aventi larghezza superiore a 600 mm. Le misure di convergenza devono essere effettuate utilizzando un estensimetro meccanico rimovibile e una serie di basi di misura di lunghezza pari a 200 mm, realizzate mediante l'incollaggio sulla muratura di pastiglie in acciaio invar del diametro di 5 mm.

La prova completa prevede un ciclo comprendente un carico fino alla pressione di ristabilimento della tensione originaria ed il relativo scarico con rilievo della deformazione residua.

I gradini di carico saranno definiti nel corso della prova e non dovranno essere inferiori a 10 tra carico e scarico.

Ciascun martinetto dovrà rimanere in posto, in piena funzionalità, per l'esecuzione di eventuali ulteriori prove di monitoraggio e rimarrà quindi di proprietà di RFI.

Su richiesta di RFI la prova potrà essere eseguita con doppio martinetto piatto per la determinazione delle caratteristiche di deformabilità.

La prova dovrà consentire di determinare in modo non distruttivo le caratteristiche di deformabilità di un campione rappresentativo di muratura. Essa consiste nell'effettuare due tagli paralleli, entro i quali vengono inseriti due martinetti piatti, in modo da delimitare un campione di muratura di dimensioni tali da consentire il corretto rilievo delle caratteristiche di deformabilità. Le misure di deformabilità assiale e trasver-

sale del campione devono essere rilevate utilizzando, rispettivamente, tre basi di misura perpendicolari ai piani dei tagli ed una base di misura parallela ad essi aventi 200 mm di lunghezza mediante l'impiego di un estensimetro meccanico rimovibile; le basi devono essere dislocate in modo da definire le caratteristiche meccaniche "medie" del campione di roccia o della struttura.

I due martinetti, connessi in parallelo ad un'unica unità idraulica di pompaggio, applicano al campione interposto uno stato di sollecitazione monoassiale attraverso l'esecuzione, in accordo con RFI, di un numero di cicli di carico/scarico i cui livelli di sollecitazione dovranno essere scelti sulla base delle caratteristiche meccaniche della muratura o della roccia.

Dopo avere completato la prova di deformabilità, quando richiesto da RFI, potrà essere incrementato il carico applicato sui martinetti per valutare la resistenza a compressione della muratura o della roccia.

### C. Documentazione

Al termine delle prove dovrà essere consegnata la seguente documentazione:

- a) RELAZIONE CONCLUSIVA contenente tra l'altro:
  - data, luogo, disposizione e numero delle prove;
  - descrizione delle apparecchiature di prova;
  - descrizione dei materiali che compongono le strutture esaminate;
  - condizioni delle murature o dei terreni al termine delle prove;
  - valore dei carichi progressivamente applicati, misure di convergenza effettuate e relativi diagrammi sforzi-deformazioni;
  - tempo richiesto per lo svolgimento delle diverse fasi di prova;
  - calcolo della sollecitazione in direzione perpendicolare al piano del martinetto, in condizioni di elasticità ed isotropia dell'ammasso roccioso, il modulo di deformabilità;
  - valori calcolati del modulo di deformabilità nei differenti intervalli di sollecitazione e resistenza a compressione stimata delle murature o delle rocce nelle prove con doppio martinetto;
  - documentazione fotografica delle prove in corso di esecuzione.

### 3.5.2. Prove in sito continue

#### Prova con penetrometro statico di tipo olandese (CPT – CPTE)

##### **A- Prove eseguite con punta meccanica (CPT)**

###### Generalità

La prova consiste nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta conica di dimensioni e caratteristiche standard, infissa a velocità costante nel terreno tramite un dispositivo di spinta che agisce alternativamente su una batteria di aste esterna e su una interna, alla cui estremità inferiore è connessa la punta.

Normative e raccomandazioni di riferimento:

- ❑ ASTM D3441-98 - "Standard Test Method for Mechanical Cone Penetration Tests of Soil".
- ❑ Associazione Geotecnica Italiana (1977) -"Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche"
- ❑ ISSMFE Technical committee on Penetration Testing (1988) – “Cone Penetration Test (CPT): International Reference Test Procedure”

###### A1. Attrezzatura

Le attrezzature richieste sono le seguenti:

- dispositivo di spinta;
- punta penetrometrica;
- aste;
- dispositivo di misura.

###### A1.1 Dispositivo di spinta

Deve essere usato il penetrometro statico "tipo Olandese" a comando idraulico con spinta da 10 o 20 ton munito di punta del tipo Begemann con manicotto per la misura dell'attrito laterale locale; è consentito l'uso di anello allargatore per diminuire l'attrito lungo tutta la batteria.

La corsa deve essere pari a 1 m. La velocità di infissione della batteria di aste sarà di 2 cm/s ( $\pm 0,5$  cm/s), costante nel corso della prova, indipendentemente dalla resistenza offerta dal terreno.

Il dispositivo di spinta deve essere ancorato e/o zavorrato in forma tale da poter usufruire per intero della propria capacità di spinta totale.

###### A1.2 Punta penetrometrica

Punta conica telescopica che possa essere, entro certi limiti, infissa indipendentemente dalla batteria di aste esterne cave, con le seguenti dimensioni:

- diametro di base del cono : 35,7 mm
- angolo di apertura del cono : 60°.

La punta permetterà la misura di:

- resistenza alla punta  $q_c$
- resistenza per attrito laterale  $f_s$

Il parametro  $f_s$  sarà relativo ad un manicotto con superficie laterale di 150 cm<sup>2</sup>.

### A1.3 Aste

Aste di tipo cavo, del diametro esterno di 36 mm.

Astine interne a sezione piena, di diametro inferiore di 0,5÷1 mm rispetto a quello interno delle stesse aste cave.

### A1.4 Dispositivo di misura

Un manometro con fondo scala massimo da 100 kg/cm<sup>2</sup> ed uno con fondo scala superiore, collegati in modo tale che il primo sia escluso automaticamente dal circuito oleodinamico in caso di pressioni troppo elevate.

La precisione di lettura deve essere contenuta entro i seguenti limiti massimi:

- 10 % del valore misurato;
- 2 % del valore di fondo scala.

### A2. Tarature e controlli

Occorrerà verificare che all'interno delle aste cave, quando collegate fra loro, non ci siano sporgenze in corrispondenza della estremità filettata.

Le aste interne a sezione piena dovranno scorrere senza attriti all'interno delle aste cave.

I manometri del dispositivo di misura dovranno essere corredati da un certificato di taratura rilasciato da un laboratorio ufficiale, non anteriore a due mesi dall'inizio della prova.

### A3. Modalità esecutive

Il penetrometro dovrà essere posizionato opportunamente in modo da garantire la verticalità della applicazione del carico.

La prova si eseguirà facendo avanzare le astine interne fino ad esaurire l'intera corsa della punta e della punta + manicotto, misurando la pressione di spinta nel primo e nel secondo caso; si faranno quindi avanzare le aste cave fino alla chiusura della batteria telescopica, misurando ed annotando la pressione totale di spinta.

Le misure di  $q_c$  ed  $f_s$  saranno discontinue, con annotazioni ogni 20 cm di penetrazione.

La prova sarà quindi eseguita fino al raggiungimento dei limiti strumentali di resistenza o fino alla profondità massima prevista dal programma delle indagini.

Copia delle letture eseguite direttamente ai manometri od al visore, alle varie profondità, devono essere consegnate giornalmente a RFI.

## **B- Prove eseguite con punta elettrica (CPTE)**

### Generalità

La prova consisterà nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta conica di dimensioni e caratteristiche standard, infissa a velocità costante nel terreno mediante un dispositivo di spinta che agisce alternativamente su una batteria di aste cave alla cui estremità inferiore è connessa la punta.

La punta è dotata di un trasduttore e nelle aste cave è inserito un cavo elettrico di trasmissione dei segnali che vengono raccolti ed elaborati in superficie da una centralina elettronica.



Normative e raccomandazioni di riferimento:

- ASTM D3441-98 - "Standard Test Method for Mechanical Cone Penetration Tests of Soil".
- ASTM D5778-95 (2000) – "Standard Test Method for Performing Electronic Friction Cone and Piezocone Penetration Testing of Soils".
- Associazione Geotecnica Italiana (1977) -"Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche".
- ISSMFE Technical Committee on Penetration Testing. Cone Penetration Testing (CPT). International Reference Test Procedure.

### B1. Attrezzatura

Le attrezzature richieste sono le seguenti:

- a) dispositivo di spinta;
- b) punta conica;
- c) aste;
- d) dispositivo di misura.

#### B1.1 Dispositivo di spinta

L'attrezzatura penetrometrica statica a punta elettrica deve essere a comando idraulico con capacità di spinta non minore a 20 t.

La corsa deve essere pari a 1 m. La velocità di infissione della batteria di aste sarà di 2 cm/s ( $\pm 0,5$  cm/s), costante nel corso della prova, indipendentemente dalla resistenza offerta dal terreno.

Il dispositivo di spinta deve essere ancorato e/o zavorrato in forma tale da poter usufruire per intero della propria capacità di spinta totale.

#### B1.2 Punta conica

La punta conica fissa, interamente solidale con il movimento delle aste cave, deve avere le seguenti dimensioni:

- diametro di base del cono :  $\varnothing_{bc} = 34,8 \div 36,0$  mm
- angolo di apertura del cono :  $60^\circ$
- altezza parte conica del cono :  $24,0 \div 31,2$  mm
- altezza dell'estensione cilindrica :  $2 \div 5$  mm

La punta permetterà la misura di:

- resistenza alla punta  $q_c$ ;
- resistenza per attrito laterale  $f_s$ .

Il campo di misura della punta sarà compreso tra 0 e 5 t; in particolari casi può essere richiesto l'impiego di punte più sensibili (da 0 a 1 t)

Il parametro  $f_s$  sarà relativo ad un manicotto di attrito liscio con le seguenti dimensioni:

- diametro : al massimo =  $\varnothing_{bc} + 0,35$  mm;

- superficie laterale :  $A_{ma} = 147 \div 153 \text{ cm}^2$ .

Il manicotto sarà posizionato subito sopra il cono.

La punta di tipo elettrico sarà strumentata con celle di carico estensimetriche per la misura di  $f_s$  e  $q_c$ , con i seguenti fondo scala:

- 5000 kg per  $q_c$  (50 Mpa);
- 750 kg per  $f_s$  (750 kPa).

Qualora necessario RFI si riserva di richiedere l'uso di punte con sensibilità massima diversa.

La punta sarà dotata di sensore inclinometrico per la misura della deviazione dalla verticale.

### B1.3 Aste

Le aste di tipo cavo saranno del diametro esterno di 36 mm.

Eventuali anelli allargatori dovranno essere posizionati ad almeno 100 cm dalla base del cono.

### B1.4 Dispositivo di misura

Oltre alle celle di carico estensimetriche della punta, saranno previsti:

- centralina elettronica per la ricezione e la trasmissione dei dati;
- registratore grafico;
- registratore su nastro magnetico (solo raccomandato );
- sincronizzatore velocità di avanzamento punta/registratore grafico analogico.

### B2. Tarature e controlli

Oltre a sistematici controlli circa lo stato della punta e del manicotto (geometria, rugosità) o delle aste cave (rettilineità della batteria specie per quanto riguarda le 5 aste più vicine alla punta) dovranno essere eseguiti i seguenti controlli:

- a) le guarnizioni fra i diversi elementi di una punta penetrometrica dovranno essere ispezionate con regolarità per accettarne le perfette condizioni e l'assenza di particelle di terreno;
- b) le punte elettriche dovranno essere compensate rispetto alle variazioni di temperatura;
- c) la precisione di misura, tenendo conto di tutte le possibili fonti di errore (attriti parassiti, errori nel dispositivo di registrazione, eccentricità del carico sul cono e sul manicotto, differenze di temperature, ecc.) dovrà essere comunque inferiore ai seguenti limiti:
  - 5% del valore misurato;
  - 1% del valore di fondo scala.

Prima di eseguire le prove penetrometriche l'Affidatario deve controllare il perfetto stato della punta, mediante apposite apparecchiature di controllo, il perfetto funzionamento dei dispositivi di amplificazione e registrazione dei dati; inoltre, per ogni punta impiegata, l'Affidatario deve consegnare a RFI un certificato attestante che la taratura della punta stessa sia stata effettuata in data non anteriore ad un mese da quella di esecuzione della prova.

Qualora eventi eccezionali possono aver alterato le caratteristiche della punta elettrica e comunque non oltre i 1000 m di effettiva penetrazione effettuata, l'Affidatario deve controllare, con le modalità approvate da RFI, che la punta elettrica non sia andata fuori taratura, qualora ciò si verifichi si deve procedere ad una nuova taratura.

I dati di taratura delle punte impiegate devono essere mantenuti in cantiere a disposizione di RFI.

### B3. Modalità esecutive

Prima di eseguire la prova deve essere accertata la perfetta verticalità della batteria del penetrometro e della adeguatezza dello zavorramento e/o ancoraggio in relazione alla capacità di spinta dell'attrezzatura.

Durante l'infissione della punta elettrica devono essere registrati separatamente e senza soluzioni di continuità i valori della resistenza alla punta ( $q_C$ ) e i valori della resistenza laterale e la deviazione della punta verticale.

E' opportuno che la taratura finale dei dispositivi di misura e registrazione sia effettuata dopo che i sensori della punta si siano equilibrati con la temperatura interna del terreno.

La prova sarà quindi eseguita fino alla profondità massima prevista dal programma delle indagini o interrotta per rifiuto in uno dei seguenti casi:

- raggiungimento del fondo scala per uno dei sensori relativi a resistenza  $q_C$  e  $f_S$ ;
- raggiungimento della massima capacità di spinta del penetrometro;
- deviazione della punta verticale di  $10^\circ$ , se repentina, o di  $15^\circ$  se progressiva.

Al termine della prova ed ogni qualvolta la prova si interrompa, si dovrà rilevare lo sforzo totale applicato.

Quando la resistenza del terreno raggiunge un valore tale da impedire l'ulteriore avanzamento del penetrometro fino alla profondità prevista, ovvero nel caso che la deviazione della punta dalla verticale risulti superiore a  $15^\circ$  l'Affidatario deve sospendere la prova ed estrarre la batteria penetrometrica e, se richiesto da RFI, deve procedere alla perforazione del terreno.

La perforazione, di norma, deve essere realizzata utilizzando una tubazione provvisoria di rivestimento con diametro interno di  $50\div 55$  mm e diametro esterno  $70\div 75$  mm, che funge anche da tubazione guida.

Qualora si debba eseguire la perforazione con diametri maggiori di 75 mm, prima di riprendere l'esecuzione della prova penetrometrica, deve essere inserita all'interno del foro una tubazione guida come sopra descritta.

### C. Documentazione

La documentazione preliminare comprenderà:

- informazioni generali;
- data di esecuzione;
- caratteristiche dell'attrezzatura;
- caratteristiche della punta;
- fotocopia delle tabelle di cantiere, con indicazione dei fattori moltiplicativi di interpretazione delle letture.

La documentazione definitiva comprenderà:

- informazioni generali;
- data di esecuzione;
- quota assoluta del punto di prova;
- certificati di taratura delle punte impiegate non anteriori a 1 mese da quella dell'assunzione della prova;
- grafici della resistenza della punta  $q_C$ , dell'attrito laterale locale  $f_S$  e del rapporto  $f_S/q_C$  calcolato fra valori misurati alla medesima profondità. Nel caso di prova eseguita con punta elettrica dovrà essere consegnato anche il grafico della deviazione della punta dalla verticale in funzione della profondità.

La profondità deve essere diagrammata in ordinata scala 1:100; i valori di  $q_C$ ,  $f_S$  ed il rapporto  $f_S/q_C$  devono essere diagrammati in ascissa:

- 1 cm = 20 kg/cmq per  $q_C$ ;
- 1 cm = 1% per  $f_S/q_C$  %;
- 1 cm = 0,5 kg/cmq per  $f_S$ .

### Prova con penetrometro statico con piezocono (CPTU)

#### Generalità

La prova con piezocono viene eseguita con una attrezzatura per prove penetrometriche statiche nella quale la punta elettrica è strumentata per la misura in forma continua di quanto sotto elencato:

- resistenza alla penetrazione statica  $q_C$  della punta conica e resistenza per attrito laterale  $f_S$ ;
- pressione idrostatica del terreno, inclusa la sovrappressione indotta dall'avanzamento della punta;
- dissipazione nel tempo della sovrappressione idrostatica indotta nel terreno, a quote predeterminate.

Normative e raccomandazioni di riferimento:

- ASTM D3441-98 - "Standard Test Method for Mechanical Cone Penetration Tests of Soil"
- ASTM D5778-95 (2000) – "Standard Test Method for Performing Electronic Friction Cone and Piezocone Penetration Testing of Soils"
- Associazione Geotecnica Italiana (1977) - "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche"

#### A. Attrezzatura

L'attrezzatura di spinta e le caratteristiche della punta devono essere le medesime previste per la prova penetrometrica eseguita con punta elettrica.

La punta deve essere corredata dall'elemento poroso completo di trasduttore e deve essere del tipo WISSA, FUGRO, ISMES, TORSTENSSON o analoghe.

L'Affidatario deve sostituire il filtro poroso con uno nuovo ad ogni estrazione della punta dal terreno.

Il trasduttore di pressione deve essere "a bassa variazione di volume" e il suo fondo scala deve essere di norma 15 bar. Per prove profonde, oltre i 30 m, deve essere usato un trasduttore con fondo scala maggiore di 15 bar. Il fondo scala degli altri sensori (punta e attrito laterale) deve essere di norma rispettivamente 5 t e 750 kg, salvo diverse prescrizioni di RFI.

La punta permetterà la misura di:

- resistenza alla punta  $q_C$ ;
- resistenza per attrito laterale  $f_S$ ;
- pressione interstiziale  $u+\Delta u$ .

### A1. Punta conica

La punta conica fissa, interamente solidale con il movimento delle aste cave, deve avere le seguenti dimensioni:

- diametro di base del cono :  $\varnothing_{bc} = 34,8 \div 36,0$  mm
- angolo di apertura del cono :  $60^\circ$
- altezza parte conica del cono :  $24,0 \div 31,2$  mm
- altezza dell'estensione cilindrica :  $2 \div 5$  mm

La punta permetterà la misura di:

- resistenza alla punta  $q_t$  (resistenza alla punta  $q_c$  corretta in funzione della pressione interstiziale  $U$ );
- resistenza per attrito laterale  $f_t$  (resistenza per attrito laterale  $f_s$  corretta in funzione della pressione interstiziale  $U$ );
- pressione interstiziale  $U$  (somma della pressione idrostatica  $U_0$  e della sovrappressione indotta  $\Delta U$ ).

Il campo di misura della punta sarà compreso tra 0 e 5 t; in particolari casi può essere richiesto l'impiego di punte più sensibili (da 0 a 1 t).

Il parametro  $f_s$  sarà relativo ad un manicotto di attrito liscio con le seguenti dimensioni:

- diametro : al massimo =  $\varnothing_{bc} + 0,35$  mm;
- superficie laterale :  $A_{ma} = 147 \div 153$  cm<sup>2</sup>.

Il manicotto sarà posizionato subito sopra il cono.

La punta di tipo elettrico sarà strumentata con celle di carico estensimetriche per la misura di  $f_s$  e  $q_c$ , con i seguenti fondo scala:

- 5000 kg per  $q_c$  (50 Mpa);
- 750 kg per  $f_s$  (750 kPa).

Qualora necessario RFI si riserva di richiedere l'uso di punte con sensibilità massima diversa.

La punta sarà dotata di sensore inclinometrico per la misura della deviazione dalla verticale.

### A2. Aste

Le aste di tipo cavo dovranno avere diametro esterno di 36 mm.

Eventuali anelli allargatori devono essere posizionati ad almeno 100 cm dalla base del cono.

La dotazione dovrà includere anche una batteria di aste normali corta ed una puntazza conica del diametro di 50 mm, per eseguire eventuali prefori per raggiungere la falda.

### A3. Dispositivo di misura

Oltre alle celle di carico estensimetriche della punta saranno previsti:

- centralina elettronica per la ricezione e la trasmissione dei dati;
- registratore grafico di  $q_c$ ,  $f_s$ ,  $u+\Delta u$ ;
- registratore grafico o stampante numerica su carta per la registrazione della variazione della pres-

sione interstiziale nel tempo nel corso delle prove di dissipazione; la scelta della sequenza temporale di misura, o la velocità di scorrimento della carta devono poter essere adattabili alle più disparate velocità di dissipazione;

- visore per la lettura istantanea dei valori delle grandezze misurate, in forma digitale;
- sincronizzatore velocità di avanzamento punta/registratore grafico.

#### A4. Attrezzatura di disaerazione

Filtro poroso e cono dovranno essere perfettamente disaerati con l'uso di una delle sotto elencate metodologie:

- cella di disaerazione sottovuoto con acqua distillata; disaerazione per bollitura, con immersione di filtro e cono per un periodo di tempo di sufficiente durata, in funzione del tipo di filtro;
- contenitore sottovuoto con glicerina calda, con vibratore ad ultrasuoni per la disaerazione del filtro; il cono verrà disaerato tramite iniezione con siringa di glicerina.

Altre attrezzature, tipi di fluido e tecniche potranno essere proposti dall'Affidatario dandone preventiva comunicazione a RFI.

#### B. Tarature e controlli

Oltre ai sistematici controlli circa lo stato della punta e del manicotto (geometria, rugosità) e delle aste cave (rettilinearità della batteria specie per quanto riguarda le 5 aste più vicine alla punta), dovranno essere eseguiti i seguenti controlli:

- le guarnizioni fra i diversi elementi di un piezocono dovranno essere ispezionate con regolarità per accettarne le perfette condizioni e l'assenza di particelle di terreno;
- il piezocono dovrà essere compensato rispetto alle variazioni di temperatura;
- la precisione di misura, tenendo conto di tutte le possibili fonti di errore (attriti parassiti, errori nel dispositivo di registrazione, eccentricità del carico sul cono e sul manicotto, differenze di temperatura ecc.) dovrà essere comunque inferiore ai seguenti limiti:
  - 5% del valore misurato;
  - 1% del valore del fondo scala.

Tale precisione dovrà essere verificata in laboratorio e verificabile in cantiere. Nel primo caso i dati di taratura relativi ad ogni piezocono dovranno essere sempre disponibili in cantiere.

#### C. Montaggio del piezocono

Terminata la disaerazione del filtro e del cono, questi saranno inseriti in un guanto di gomma pieno di acqua disaerata, operando rigorosamente in immersione; il guanto di gomma non sarà rimosso all'inizio della prova, in quanto sarà l'attrito con il terreno a provvedere alla sua rottura ed asportazione.

#### D. Preforo

L'intervallo di profondità compreso fra il piano di campagna e la superficie freatica dovrà essere perforato con puntazza od eventuale sonda a rotazione, inserendo se necessario un tubo in PVC (o simili) del diametro interno  $\geq 50$  mm.

#### E. Stabilizzazione termica

Prima di iniziare la prova, la punta dovrà essere inserita nel preforo, in acqua di falda, e lasciata ferma per

10 minuti primi per ottenere la stabilizzazione termica, ripetendo alla fine dei 10' gli azzeramenti dei dispositivi di misura e registrazione.

Al termine della prova dovranno essere misurate e registrate eventuali derive di zero dei dispositivi; tali annotazioni finali dovranno far parte integrante della documentazione provvisoria e definitiva della prova.

#### F. Modalità esecutive

Il penetrometro dovrà essere posizionato opportunamente in modo da garantire la verticalità dell'applicazione del carico.

L'elemento poroso del piezocono deve essere debitamente saturato prima di ogni prova, verificando inoltre che non vi siano bolle d'aria racchiuse nel condotto di adduzione al trasduttore e nella camera del trasduttore.

La punta deve essere quindi inserita nel contenitore pieno di acqua disaerata. Tale operazione deve essere ripetuta prima dell'inizio di ogni prova.

Successivamente la punta deve essere fatta avanzare nel terreno saturo fino alla profondità stabilita, registrando, insieme ai parametri misurati dalla punta elettrica, i valori della pressione interstiziale.

La prova si inizierà alla base del tratto preforato, inserendo nel terreno il piezocono protetto dal guanto di gomma. La prova sarà quindi eseguita fino alla profondità definita dal programma delle indagini, o interrotta per rifiuto in uno dei seguenti casi:

- raggiungimento del fondo scala di uno dei sensori relativi a resistenza  $q_c$ ,  $f_s$ , o pressione interstiziale;
- raggiungimento della massima capacità di spinta del penetrometro;
- deviazione della punta della verticale di  $10^\circ$ , se repentina, o di  $15^\circ$  se progressiva.

Nel caso di rifiuto potrà essere richiesta la ripresa della prova dopo preforo a quota maggiore di 1 m rispetto a quella della interruzione della prova.

Alle quote indicate dal programma si eseguiranno le prove di dissipazione operando come di seguito:

- arresto della penetrazione della punta;
- scatto contemporaneo dei contasecondi e inizio della registrazione della variazione di pressione interstiziale;
- lettura al visore digitale dell'andamento della pressione interstiziale ai tempi 0,1 - 0,25 - 0,5 - 1 - 2 - 4 - 8 - 15 - 30 minuti primi; la lettura sarà registrata manualmente sul grafico.

La prova sarà considerata conclusa al 75% della dissipazione della sovrappressione indotta dalla punta.

A prova ultimata e ad avvenuta estrazione della punta l'Affidatario deve controllare se si sono verificate derive dello zero per effetto di sforzi eccentrici, urti, sovraccarichi, difetti elettrici, ecc.

L'eventuale nuovo valore di zero (e quindi l'eventuale deriva) deve essere indicato sui grafici e memorizzato nel caso di memoria magnetica, in modo da poterne tenere conto nella elaborazione dei dati.

#### G. Documentazione

La documentazione di cantiere da consegnare al termine di ciascuna verticale, deve comprendere:

- la planimetria in scala non inferiore a 1:5.000 recante l'ubicazione precisa di tutte le prove effettuate;
- il grafico della pressione interstiziale alle varie profondità;
- le tabelle con i dati numerici dei valori della pressione interstiziale in funzione del tempo durante le prove di dissipazione.

Nella documentazione definitiva i grafici o tabelle di cantiere devono essere elaborati in modo tale che:

- a) il grafico della pressione interstiziale rilevata durante la penetrazione alle varie profondità sia tracciato sul medesimo grafico in cui sono riportati i valori  $q_t$ ,  $f_t$  e  $q_t/f_t$  in funzione della profondità;
- b) per ogni prova di dissipazione eseguita ad una certa profondità venga tracciato sia un grafico dell'andamento della pressione interstiziale in funzione del logaritmo del tempo che, riportate in tabelle, le letture fatte ai diversi tempi.

La documentazione finale deve anche includere la geometria della punta con indicazione delle dimensioni e della posizione del filtro, delle sue caratteristiche (porosità e materiale), delle caratteristiche del trasduttore (fondo scala, tipo) e dell'area netta. Se vengono eseguiti prefori devono inoltre essere precisate le caratteristiche degli stessi.

Qualora l'attrezzatura disponesse di registratore digitale dei valori misurati, ove richiesto da RFI, la documentazione definitiva deve essere completata con il tabulato delle misure, alle varie profondità (ogni 2 cm), corrette per inclinazione, derive, ecc.

Il tabulato deve comprendere le seguenti colonne:

- $q_t$  cioè la  $q_C$  corretta per l'influenza della pressione interstiziale per effetto dell'area netta;
- $U$  cioè la  $U$  totale misurata diminuita della  $U_0$  corrispondente al carico idrostatico;
- $U/q_t$  rapporto fra la  $U$  e la  $q_t$  ( $q_C$  corretta);
- profondità.

## Prova con penetrometro dinamico tipo SCPT

### Generalità

La prova consiste nell'infissione per battitura di una punta conica metallica nel terreno, contando il numero di colpi necessari per la penetrazione di ciascun tratto di lunghezza prestabilita.

La punta conica è avvitata all'estremità di una batteria di aste metalliche e la battitura avviene con un maglio che cade liberamente da una altezza costante.

Normative e raccomandazioni di riferimento:

- Associazione Geotecnica Italiana (1977) -"Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche".
- ISSMFE Technical Committee on Penetration Testing (1988) -"Dynamic Probing (DP): International Reference Test Procedure".

### A. Attrezzatura

Gli standards definiti dalle due associazioni sono differenti e vengono di seguito descritti.

Secondo l'Associazione Geotecnica Italiana l'attrezzatura sarà la seguente:

1. Batteria di aste interne ad una seconda batteria di tubi esterni di rivestimento con scarpa sagomata a tagliente alla base:
  - Lunghezza aste :  $L = 1 \div 2$  m
  - Peso per metro lineare aste :  $M = 4,6 \pm 0,5$  kg
  - Diametro esterno aste :  $\varnothing_{est} = 34$  mm
  - Diametro esterno rivestimento :  $\varnothing_{est} = 48$  mm



- Diametro interno rivestimento :  $\varnothing_{\text{int}} = 38 \text{ mm}$
- Peso per metro lineare rivestimento :  $M = 5,3 \text{ kg}$

(l'intercapedine tra  $\varnothing_{\text{int}}$  della scarpa e le aste sarà di  $0,2 \div 0,3 \text{ mm}$ ; tra le aste e il rivestimento, sopra la scarpa, di  $2 \text{ mm}$  circa).

2. Punta conica collegata alla base delle aste interne:

- Angolo apertura :  $\alpha = 60^\circ$
- Diametro base :  $\varnothing_{\text{b}} = 50,8 \text{ mm}$

3. Dispositivo di infissione con sollevamento e sganciamento automatico con le seguenti caratteristiche:

- massa battente :  $M = 73 \text{ kg}$
- altezza di caduta :  $h = 750 \text{ mm}$

L'altezza di caduta nel corso della infissione dei rivestimenti non è vincolante.

Secondo ISSMFE l'attrezzatura ("superpesante" DPSH) sarà la seguente:

1. Batteria di aste interne ad una seconda batteria di tubi esterni di rivestimento con scarpa sagomata a tagliente alla base:

- Lunghezza aste :  $L = 1 \div 2 \text{ m}$
- Peso per metro lineare aste :  $M_{\text{max}} = 8,0 \text{ kg}$
- Diametro esterno aste :  $\varnothing_{\text{est}} = 32 \pm 0,3 \text{ mm}$

(l'intercapedine tra  $\varnothing_{\text{int}}$  della scarpa e le aste sarà di  $0,2 \div 0,3 \text{ mm}$ ; tra le aste e il rivestimento, sopra la scarpa, di  $2 \text{ mm}$  circa).

2. Punta conica collegata alla base delle aste interne:

- Angolo apertura :  $\alpha = 90^\circ$
- Diametro base :  $\varnothing_{\text{b}} = 50,5 \pm 0,5 \text{ mm}$

3. Dispositivo di infissione con sollevamento e sganciamento automatico con le seguenti caratteristiche:

- massa battente :  $M = 63,5 \pm 0,5 \text{ kg}$
- altezza di caduta :  $h = 750 \pm 0,02 \text{ mm}$

Il rivestimento nella procedura ISSMFE non è previsto ma il suo impiego è consigliabile soprattutto per ridurre l'effetto dell'attrito laterale sulle aste. In ogni caso deve sempre essere verificato che le aste siano in grado di ruotare liberamente all'interno del foro.

### B. Modalità esecutive

La prova consisterà nella infissione della punta conica nel terreno, per tratti consecutivi di 20/30 cm misurando il numero di colpi ( $N_p$ ) necessari.

L'AGI prevede avanzamenti di 30 cm mentre ISSMFE prevede l'infissione per tratti consecutivi di 20 cm .

Dopo 20/30 cm di penetrazione della punta verrà infisso il rivestimento rilevando ancora il numero di colpi ( $N_r$ ).

La prova verrà sospesa per raggiunto rifiuto quando  $N_p$  o  $N_r$  superano il valore di 100 colpi per avanzamento.

Di norma le prove verranno iniziate alla quota del piano campagna.

La punta conica dovrà sporgere dal rivestimento non più di 20 cm in qualsiasi fase della prova; ciò per evitare che attriti laterali sulle aste alterino i dati di resistenza  $N_r$  misurati.

Le due batterie, aste collegate alla punta e rivestimenti, dovranno essere reciprocamente libere per tutta la durata della prova. Nel caso di blocco delle due colonne, a seguito di infiltrazioni di materiale nell'intercapedine, la prova dovrà essere sospesa; prima di estrarre la batteria l'esecutore deve mettere in atto tutti gli accorgimenti dettati dall'esperienza atti a sbloccare le due colonne. Ad esempio:

- iniezione di acqua in pressione nell'intercapedine;
- bloccaggio di una delle due colonne ed infissione o estrazione dell'altra;
- azione combinata dei due interventi sopra descritti.

Fra la testa di battuta alla sommità della batteria ed il piano campagna dovrà essere installato almeno n.1 centratore con funzioni di guida e di irrigidimento.

La prova è continua per tutta la profondità indagata.

### C. Documentazione

La documentazione deve comprendere, oltre alle informazioni generali:

- caratteristiche generali dell'attrezzatura impiegata;
- tabulato dei dati rilevati per ciascuna prova ( $N_p$  ed  $N_r$ ) e per ciascuna verticale di prova;
- descrizione dettagliata delle caratteristiche dell'attrezzatura impiegata;
- grafico di  $N_p$  e  $N_r$  in funzione della profondità;
- altezza di caduta media del maglio durante l'infissione del rivestimento.

### **Prova con dilatometro piatto tipo Marchetti**

#### Generalità

La prova consiste nell'infiggere verticalmente nel terreno, mediante spinta statica, uno strumento di prova a lama, espandendo con del gas in pressione una membrana circolare situata su di un lato dello strumento e misurando le pressioni corrispondenti a due livelli di deformazione predeterminati della membrana.

Normativa di riferimento:

- ASTM D6635-01 - "Standard Test Method for Performing the Flat Plate Dilatometer"

- CEN-Eurocode 7 (1999) – “Flat dilatometer test (DMT)”, part 3, section 9

## A. Attrezzatura

### A.1 Dispositivo di spinta

Può essere costituito da un penetrometro statico da 20 t di spinta effettiva, completo di batteria di aste ( $\varnothing_{est} = 36$  mm) oppure dal dispositivo di spinta di una sonda da perforazione; in questo secondo caso si richiede che almeno 2÷3 m delle aste, quelle connesse allo strumento di prova, abbiano  $\varnothing_{est} = 36$  mm, mentre la rimanente parte può avere diametro superiore.

Il cavo elettrico di collegamento dello strumento con la superficie deve essere sempre interno alle aste  $\varnothing_{est} = 36$  mm; può uscire in corrispondenza del raccordo tra aste  $\varnothing_{est} = 36$  mm e quelle di perforazione di diametro superiore, tramite apposito giunto spaccato longitudinalmente ed essere fissato opportunamente all'esterno delle aste.

### A.2 Attrezzatura originale Marchetti

L'attrezzatura dilatometrica sarà del tipo originale, coperta da brevetto, del tipo Marchetti, senza modifiche e dovrà comprendere:

- dilatometro tipo Marchetti (95 x 200 x 14 mm), con membrana metallica laterale, spessore 0,2 mm, espandibile per 1 mm al centro;
- centralina di misura tipo Marchetti;
- cavo elettropneumatico di collegamento del dilatometro con la centralina;
- bombola di gas azoto.

## B. Modalità esecutive

### B.1 Accertamenti preliminari

Prima dell'esecuzione della prova si dovrà verificare che la lama di prova sia dritta, senza concavità o convessità maggiori di 0,5 mm rispetto al piano di riferimento.

La lama sarà collegata alle aste in modo da contenere la deviazione dell'asse entro 0,2 mm. La membrana dovrà essere liscia e regolare ed il metallo che la costituisce non deve essere snervato.

Una volta collegata la lama ai tubi di adduzione gas alla centralina di misura ed alle bombole non si dovranno rilevare nel circuito perdite di pressione maggiori di 100 kPa/min .

### B.2 Taratura

L'entità della deformazione della membrana in corrispondenza dei punti di misura A e B sarà misurata tramite il dispositivo di taratura. I segnali acustici relativi ai punti A e B dovranno cessare a deformazioni di 0,05 mm e 1,1 mm rispettivamente.

Membrane con caratteristiche diverse non saranno accettate e dovranno essere sostituite.

Le membrane nuove dovranno essere sottoposte a 20 cicli di carico e scarico con pressioni comprese entro i limiti indicati dal costruttore prima di essere impiegate in prove reali.

La taratura della membrana dovrà essere eseguita di nuovo al termine delle prove oppure ogni 5 verticali di prova.

La prova sarà eseguita da personale in possesso del patentino di abilitazione rilasciato dal costruttore.

Il dilatometro sarà spinto verticalmente nel terreno arrestando la penetrazione ad intervalli di 20 cm per l'esecuzione delle misure.

Durante l'infissione il segnale acustico (o audiovisivo) sarà sempre attivato e la valvola di sfiato dovrà essere aperta.

Raggiunta la quota di prova ed arrestata l'infissione si scaricano da ogni pressione le aste entro 15 secondi, si invia gas alla membrana misurando, tramite la centralina elettro-pneumatica di superficie:

- la pressione alla quale inizia il distacco della membrana (lettura A), da rilevarsi entro 20 secondi dalla immissione del gas;
- la pressione necessaria per espandere di 1 mm il centro della membrana (lettura B), da rilevarsi entro 30 secondi dalla lettura A.

Se richiesto verrà anche misurato ed annotato il valore C della pressione che agisce sulla membrana quando, durante lo scarico del gas (dapprima immesso per ottenere le letture A e B), la membrana viene a trovarsi di nuovo nella posizione di riposo; il tempo di scarico deve essere compreso in non oltre 30 sec. e la centralina essere dotata di valvola di sfiato regolabile per il controllo graduale della deformazione.

Tale ciclo di misure, salvo diverse prescrizioni, deve essere ripetuto ogni 20 cm.

La prova si intende conclusa quando il dilatometro ha raggiunto la profondità stabilita.

Qualora la natura del terreno impedisca l'infissione del dilatometro, si deve sospendere la prova e procedere all'approfondimento dello stesso dopo aver effettuato la perforazione del terreno fino alla profondità prescritta. La tubazione di rivestimento del foro deve avere diametro idoneo per permettere il passaggio del dilatometro.

In alternativa (fori molto profondi, operazioni da natante, etc...) la cella può essere infissa utilizzando l'attrezzatura di perforazione, con le relative aste.

Durante l'esecuzione della prova l'immissione del gas al dilatometro deve essere effettuata in modo da non causare apprezzabili cadute di pressione lungo il tubetto di collegamento.

### C. Documentazione

Per ogni prova deve essere fornita la seguente documentazione:

- individuazione del punto di prova e della data di esecuzione;
- quote delle letture eseguite;
- valore di pressione di inizio dilatazione della membrana (lettura A);
- valore di pressione relativa alla dilatazione di 1 mm del centro della membrana (lettura B);
- eventuali annotazioni dell'operatore e data di esecuzione.

Le letture (A e B) devono essere elaborate e diagrammate in modo da ottenere i profili di:

- indice di materiale ID, correlato alla granulometria del materiale (sabbia, limo, argilla);
- modulo edometrico  $M_O = 1/m_V$ ;
- modulo dilatometrico  $E_d$ ;
- coesione non drenata  $c_u$  (nei soli terreni coesivi);
- angolo di attrito (solo nei terreni incoerenti);
- indice di spinta orizzontale  $k_d$ ;
- coefficienti di spinta orizzontale  $k_0$ ;
- grado di sovraconsolidazione.

### 3.5.3. Prove in sito puntuali

#### Prova di densità in sito

##### Generalità

La prova determina il peso specifico apparente di una terra in sito attraverso il rapporto tra il peso della terra nella sua sede ed il suo volume.

Normative e raccomandazioni di riferimento:

- CNR-BU n. 22-1971 -"Peso specifico apparente di una terra in sito".
- ASTM D1556-00 – “Standard Test Method for Density and Unit Weight of Soil in Place by the Sand Cone Method”

##### A. Attrezzatura

Per la esecuzione della prova si può adottare uno dei seguenti metodi:

- metodo del cilindro;
- metodo del volumometro a sabbia;
- metodo del volumometro a membrana.

##### A1. Metodo del cilindro

L'attrezzatura necessaria è costituita da:

- cilindro di acciaio a pareti sottili ed a bordo tagliente di peso e volume noti;
- massa battente del peso di circa 5 kg;
- attrezzi di scavo e di taglio;
- bilancia della portata di 10 kg, con sensibilità di 1 g.

##### A2. Metodo del volumometro a sabbia

L'attrezzatura necessaria è costituita da:

- volumometro a sabbia costituito da un recipiente, in materiale trasparente, con un tappo a vite fornito di una prolunga costituita da un raccordo conico, da un rubinetto con orifizio di diametro > 10 mm e da un imbuto;
- piastra circolare di base con foro centrale munito di battente per l'alloggiamento dell'imbuto;
- stampo cilindrico di volume noto, di diametro uguale a quello dell'imbuto e di altezza compresa tra 1 e 1,5 volte il diametro;
- sabbia pulita e asciutta passante al setaccio da 2 mm e trattenuta da quello da 0,4 mm;
- bilancia della portata di 10 kg con sensibilità 1 g;
- apparecchiatura per la determinazione dell'umidità;
- attrezzi per scavare la buca di prova;
- sacchetti e contenitori per campioni di terra.

### A3. Metodo del volumometro a membrana

L'attrezzatura necessaria è costituita da:

- volumometro costituito da un recipiente calibrato, chiuso al fondo con una membrana flessibile ed elastica;
- stampi calibrati di taratura;
- piastra circolare di base con foro centrale provvista di battente per l'alloggiamento del volumometro;
- bilancia con portata di circa 10 kg e con sensibilità di 1 g;
- apparecchiatura per la determinazione dell'umidità;
- strumenti per scavare la buca;
- contenitori e sacchetti per campioni di terra.

L'apparecchio dovrà permettere l'applicazione di sovraccarichi per migliorare l'aderenza al suolo.

Dovrà essere provvisto di un indicatore di volume per determinare il volume della buca in cui viene eseguita la prova, con una approssimazione non inferiore all'1%.

La membrana flessibile dovrà avere dimensioni e forma tali da aderire perfettamente alle pareti della buca e dovrà avere resistenza sufficiente per sopportare la pressione necessaria per gonfiarla fino a farla aderire alle pareti della buca stessa.

## B. Modalità esecutive

### B1. Metodo del cilindro

Questo procedimento consiste nella determinazione del peso di volume di un campione di terra che riempie uno stampo cilindrico infisso nel terreno.

Questo metodo è applicabile a terreni coesivi ed a grana fine (passante al setaccio da 2 mm).

La superficie dello strato da campionare deve essere spianata e ripulita, senza compressione.

Il cilindro a bordo tagliente deve essere infisso con una serie di colpi della massa battente fino a che il bordo superiore del cilindro non si trovi a circa 1 cm al di sotto della superficie originaria.

La massa battente viene rimossa e si estrae il cilindro dal terreno avendo cura di non disturbare il campione.

Per facilitare l'operazione di estrazione è consigliabile scavare all'intorno del cilindro.

Una volta estratto il campione si dovrà spianare a raso orlo la superficie superiore ed inferiore.

I campioni che appaiono disturbati dovranno essere scartati.

Il cilindro con il campione dovrà essere pesato e successivamente si estrarrà il campione prelevando nella sua parte centrale circa 100 g di materiale per la determinazione dell'umidità.

La densità del terreno in sito all'umidità naturale è data da:

$$\gamma = \frac{P_1 - P_2}{V} \text{ (kg / dm}^3\text{)}$$

dove:

$P_1$  = peso del cilindro pieno di terra (kg)

$P_2$  = peso del cilindro vuoto (kg)

$V$  = volume interno del cilindro (dm<sup>3</sup>)

### B2. Metodo del volumometro a sabbia

Questo metodo misura il volume di sabbia necessario per riempire il cavo lasciato dal campione di terra prelevato per misurarne il peso e l'umidità.

Il metodo trova applicazione generale purché la dimensione massima dei granuli della terra non sia superiore ad un quinto (1/5) del diametro del foro della piastra utilizzata.

Prima dell'esecuzione della prova dovrà essere verificata la taratura dell'apparecchio eseguendo:

- la determinazione del peso di sabbia che riempie l'imbuto ed il foro della piastra di base;
- la determinazione del peso di volume della sabbia impiegata.

Le sequenze operative di prova sono le seguenti:

1. riempimento del recipiente del volumometro con la sabbia e determinazione del peso del recipiente pieno;
2. spianatura, senza compressione, della superficie dello strato in cui si vuole eseguire la prova e fissaggio della piastra di base sul piano così preparato;
3. all'interno della circonferenza del foro centrale della piastra, esecuzione di una buca di profondità approssimativamente uguale al suo diametro;
4. posizionamento del volumometro rovesciato, con il rubinetto chiuso, sulla piastra di base e apertura del rubinetto facendo defluire la sabbia;
5. chiusura del rubinetto e rimozione del recipiente quando la sabbia ha finito di defluire;
6. pesatura del recipiente con la sabbia rimasta e determinazione, per differenza dal peso del recipiente pieno, del peso di sabbia impiegata per la misura;
7. pesatura della terra estratta dal foro scavato;
8. prelievo di un campione nel materiale scavato, per la determinazione dell'umidità.

La densità del terreno in sito all'umidità naturale è data da:

$$\gamma = \frac{P_3}{V} \text{ (kg / dm}^3\text{)}$$

dove:

$P_3$  = peso della terra estratta dalla buca (kg)

$V$  = volume della buca (dm<sup>3</sup>)

### B3. Metodo del volumometro a membrana

Questo metodo misura il volume di acqua necessario per riempire il cavo lasciato dal campione di terra prelevato per misurarne il peso e l'umidità, facendo aderire alle pareti del cavo una sottile membrana elastica.

Il metodo trova applicazione generale purché la dimensione massima dei granuli della terra non sia superiore ad un quinto (1/5) del diametro del foro della piastra utilizzata e purché non si tratti di terreno molle deformabile sotto l'azione di una piccola pressione.

Prima dell'esecuzione della prova dovrà essere verificata la taratura dell'indicatore di volume attraverso il controllo con stampi di volume noto ed uguale all'incirca a quello della buca di prova.

Per ogni misura dovranno essere eseguite almeno tre determinazioni che non differiscano tra loro oltre l'1%.

Le sequenze operative di prova sono le seguenti:

1. spianatura, senza compressione, della superficie dello strato in cui si vuole eseguire la prova e fissaggio della piastra di base sul piano così preparato;
2. posizionamento del volumometro sulla piastra di base applicando una leggera pressione all'interno dell'apparecchio fino a che non si notino più variazioni di lettura ed esecuzione della lettura iniziale del livello dell'acqua sull'indicatore di volume;
3. rimozione del volumometro e, lasciando in posto la piastra di base, scavo di una buca di diametro all'incirca uguale alla circonferenza del foro centrale della piastra; conservazione del materiale scavato;
4. posizionamento del volumometro sulla piastra ed applicazione di una pressione idonea a far aderire la membrana alla pareti della buca ed esecuzione della lettura sull'indicatore di volume; la differenza tra la lettura eseguita al punto 2. e quest'ultima fornisce il volume della buca;
5. pesatura della terra estratta dal foro scavato;
6. prelievo di un campione nel materiale scavato, per la determinazione dell'umidità.

La densità del terreno in sito all'umidità naturale è data da:

$$\gamma = \frac{P}{V} \text{ (kg / dm}^3\text{)}$$

dove:

$P_3$  = peso della terra estratta dalla buca (kg)

V = volume della buca (dm<sup>3</sup>)

### C. Documentazione

La documentazione da fornire comprenderà, per ciascuna prova:

- informazioni generali (cantiere, n° prova, ubicazione planimetrica, data);
- descrizione della strumentazione impiegata ed eventuali tarature;
- risultati delle prove eseguite.

### **Prova di carico su piastra per la determinazione del modulo di deformazione di un ammasso terroso**

#### Generalità

La prova consiste nel sovraccaricare con incrementi successivi e regolari una piastra rigida, circolare, poggiata sulla superficie del terreno misurando il cedimento corrispondente ad ogni gradino di carico.

Normative e raccomandazioni di riferimento:

- ❑ CNR-BU n. 146-1992 -"Determinazione dei moduli di deformazione  $M_D$  e  $M'_D$  mediante prova di carico a doppio ciclo con piastra circolare".
- ❑ ASTM D1194-94 (2001) – "Standard Test Method for Bearing Capacity of Soil for Static Load and Spread Footings".
- ❑ Association Suisse de Normalisation (1981) – "Terre-Prove di piastra Me", Norme Suisse SN 670317a



### A. Attrezzatura

L'attrezzatura da impiegarsi è la sottoelencata:

- piastra circolare in acciaio, rigida, caratterizzata da:
  - spessore :  $Sp \geq 20 \text{ mm}$
  - diametro :  $\varnothing = 300 \pm 1 \text{ mm}$
- martinetto di carico (idraulico o meccanico) di portata pari ad almeno 50 kN;
- dinamometro (meccanico o idraulico) di portata pari ad almeno 50 kN e sensibilità pari a 0,5 kN;
- scatola cilindrica metallica dotata al suo interno di una superficie piana di appoggio della punta del comparatore;
- cerniera sferica per il centramento del carico;
- prolunga costituita da più aste cilindriche avvitate tra loro;
- comparatori per la lettura dei cedimenti con sensibilità di 0,01 mm e capacità di lettura di almeno 10 mm;
- bracci snodabili porta comparatore con dispositivo a vite micrometrica per l'azzeramento del comparatore;
- trave rigida di sostegno dei bracci portacomparatori, di lunghezza pari a 2,5 m e con supporti alle estremità per l'appoggio al terreno;
- struttura fissa di contrasto il cui peso sia maggiore di 2 volte la forza massima totale da applicare sulla piastra, secondo il programma di prova;
- contasecondi, filo a piombo, livella a bolla, termometro con sensibilità di 1°C.

### B. Operazioni preliminari

#### B1. Preparazione del terreno

La piastra sarà poggiata su terreno con contenuto d'acqua naturale, non disturbato in forma alcuna, ripulito a mano da qualsiasi detrito, copertura o ciottolo sporgente.

Il terreno sarà, se necessario, regolarizzato con un sottile spessore di sabbia o altro materiale incoerente (tutto passante al setaccio da 2 mm), per ottenere una superficie piana e orizzontale.

Gli ultimi 15÷20 cm dello scavo eventualmente previsto devono essere eseguiti manualmente avendo cura di non calpestare l'area in cui deve essere eseguita la prova.

La orizzontalità della piastra, una volta posta sul piano di prova, sarà verificata con livella a bolla.

#### B2. Assemblaggio

La prova può essere eseguita secondo due diverse modalità in funzione del numero di comparatori utilizzati per il rilievo dei cedimenti.

##### *1) Con un comparatore.*

La prova può essere eseguita secondo due diverse modalità in funzione del numero di comparatori utilizzati per il rilievo dei cedimenti.

Con un comparatore

Bloccata la cerniera sferica, si applica sopra la piastra la scatola cilindrica sistemando al suo interno il

comparatore con la punta appoggiata sull'apposita sede nella parte inferiore.

Il braccio porta comparatore viene fissato alla trave di sostegno i cui appoggi devono essere ubicati a distanza di almeno 1 m per la piastra e di 0,50 m per le ruote della struttura di contrasto.

Sopra la scatola cilindrica le altre attrezzature potranno essere posizionate secondo le seguenti combinazioni:

martinetto → dinamometro → asta di prolunga;

asta di prolunga → dinamometro → martinetto.

Nel primo caso la struttura di contrasto sarà a contatto con l'asta di prolunga, mentre nel secondo caso il contrasto poggerà direttamente sul martinetto.

#### 2) Con tre comparatori

Rispetto alla procedura precedente non viene utilizzata la scatola cilindrica e la cerniera sferica deve essere posizionata tra la struttura di contrasto e la prolunga.

I tre comparatori, per mezzo di appositi bracci, devono essere disposti a 120° sul perimetro della piastra, a circa 5 mm dal bordo.

#### C. Modalità esecutive

Assemblata l'attrezzatura, si eseguirà la prova previa l'applicazione di un carico di assestamento di almeno 0,02 N/mm<sup>2</sup> comprendente il peso dell'apparecchiatura gravante sulla superficie di prova.

Azzerato/i il/i comparatore/i, si porta il carico a 0,05 N/mm<sup>2</sup> effettuando la prima lettura e applicando successivi incrementi di carico non appena il cedimento, corrispondente ad un determinato carico, risulti inferiore a 0,02 mm/minuto.

Nel caso in cui il cedimento sia maggiore di 0,02 mm/minuto si dovrà mantenere lo stesso carico per un ulteriore intervallo di tempo e rileggere i/il valori/e ai/l comparatori/e fino al raggiungimento della condizione precedentemente citata.

Nel caso di impiego di tre comparatori deve essere presa in considerazione la media delle tre letture effettuata per ciascun livello di carico.

La prova sarà eseguita con un solo ciclo di carico se interessa determinare unicamente il modulo  $M_d$  (indicativo della portanza) mentre se è necessario definire il grado di costipamento dello strato in esame occorre eseguire un secondo ciclo di carico per la determinazione del modulo  $M'_d$ .

##### a) Primo ciclo

Si dovrà seguire il seguente schema operativo:

- per terreni di sottofondo e per strati di rilevato: incrementi di carico di 0,05 N/mm<sup>2</sup> fino ad una pressione massima di 0,2 N/mm<sup>2</sup>;
- per strati di fondazione e per strati di base: incrementi di carico di 0,1 N/mm<sup>2</sup> fino a pressioni massime rispettivamente di 0,35 e 0,45 N/mm<sup>2</sup>.

Raggiunta la pressione massima si esegue lo scarico:

- completo se occorre determinare solo il modulo  $M_d$ ;
- fino alla pressione di 0,05 N/mm<sup>2</sup> se occorre determinare anche il modulo  $M'_d$  e quindi eseguire il secondo ciclo di carico dopo avere rilevato il cedimento residuo.

##### b) Secondo ciclo

Si dovrà seguire il seguente schema operativo:

- per terreni di sottofondo e per strati di rilevato: incrementi di carico di  $0,05 \text{ N/mm}^2$  fino alla pressione massima di  $0,15 \text{ N/mm}^2$ ;
- per strati di fondazione e per strati di base: incrementi di carico di  $0,1 \text{ N/mm}^2$  fino alle pressioni massime rispettivamente di  $0,25$  e  $0,35 \text{ N/mm}^2$ .

Al termine della prova deve essere prelevato un campione rimaneggiato di terreno in prossimità del punto di prova allo scopo di determinarne le caratteristiche fisiche con particolare riferimento all'umidità.

In corrispondenza di terreni di sottofondo dovrà essere verificata la natura del terreno per uno spessore di 50 cm al fine di controllare l'eventuale presenza di ciottoli o blocchi di dimensioni  $> 10 \text{ cm}$  al di sotto della piastra di prova. In caso positivo la prova dovrà essere ripetuta in un altro posto.

In corrispondenza di strati di fondazione o di base la dimensione massima dell'aggregato nel punto di prova non deve superare 10 cm.

I moduli di deformazione  $M_d$  e  $M'_d$  dovranno essere calcolati nei seguenti intervalli di carico:

- per terreni di sottofondo e strati di rilevato: tra  $0,05$  e  $0,15 \text{ N/mm}^2$ ;
- per strati di fondazione: tra  $0,15$  e  $0,25 \text{ N/mm}^2$ ;
- per strati di base: tra  $0,25$  e  $0,35 \text{ N/mm}^2$ .

In campo ferroviario si deve fare riferimento alla fondazione del rilevato ovvero gli strati di bonifica, agli strati del corpo del rilevato ed allo strato fortemente compattato (supercompattato) costituente l'ultimo strato del rilevato.

Pertanto i relativi moduli di deformazione  $M_d$  e  $M'_d$  dovranno essere calcolati nei seguenti intervalli di carico:

- per gli strati di fondazione (ovvero strati di bonifica): tra  $0,05$  e  $0,15 \text{ N/mm}^2$ ;
- per gli strati del corpo dei rilevati: tra  $0,15$  e  $0,25 \text{ N/mm}^2$ ;
- per lo strato fortemente compattato: tra  $0,25$  e  $0,35 \text{ N/mm}^2$ .

#### D. Documentazione

La documentazione da fornire comprenderà, per ciascuna prova:

- informazioni generali (cantiere, n° prova, profondità, diametro piastra, data);
- fotocopia delle tabelle con letture di cantiere dell/i comparatore/i, per ciascun gradino di carico;
- diagramma carichi-cedimenti;
- modulo di deformazione  $M_d$  ( $M'_d$ ) ( $\text{N/mm}^2$ ) calcolato nell'intervallo di pressione da considerare in accordo alla formula:

$$M_d (M'_d) = \frac{\Delta p}{\Delta s} \cdot D$$

dove

$\Delta p$  = incremento di carico unitario ( $\text{N/mm}^2$ );

$\Delta s$  = cedimento corrispondente all'incremento di carico (mm);

$D$  = diametro della piastra (mm).

- certificato di taratura del dinamometro di misura non anteriore di 3 mesi la data di inizio prove.

## Prova di carico su piastra per la determinazione in situ della deformabilità di un ammasso roccioso

### Generalità

Questa prova viene eseguita per determinare in cunicolo le caratteristiche di deformabilità dell'ammasso roccioso. La prova può fare riferimento sia allo schema con piastra rigida che deformabile, mentre l'interpretazione dei risultati delle prove deve basarsi sulla teoria di Boussinesq.

Normative e raccomandazioni di riferimento:

- ISRM - "Suggested methods for determining in situ deformability of rock", 1979

### A. Attrezzatura

L'attrezzatura di prova deve essere costituita da:

- n. 2 martinetti piatti anulari aventi diametro esterno pari a 50 cm;
- n. 1 telaio in ferro tubolare per il contrasto;
- n. 2 estensimetri (deformometri) a 6 basi per ciascun foro;
- n. 2 celle di pressione;
- n. 1 pompa oleodinamica con set di tubi ad alta pressione;
- n. 12 trasduttori di spostamento LVDT;
- n. 1 sistema elettronico pilotato da un calcolatore per l'acquisizione e registrazione dei dati.

L'attrezzatura di perforazione deve essere costituita da:

- n. 1 sonda di perforazione;
- n. 1 carotiere a parete sottile  $\varnothing_{est} = 76$  mm;
- carotiere diamantato;
- aste di perforazione.

### B. Modalità esecutive

Per l'esecuzione della prova deve essere applicato un carico sulla superficie rocciosa per misurare le deformazioni indotte nell'ammasso roccioso e determinare le caratteristiche di deformabilità dello stesso.

Il carico, uniformemente distribuito su un'area circolare (schema con piastra deformabile), deve essere applicato direttamente alla roccia mediante dispositivi ad elevata deformabilità costituiti da martinetti piatti circolari. Per ogni prova devono essere preparate due aree di carico situate in posizione diametralmente opposta rispetto all'asse del cunicolo. La preparazione di tali aree deve avvenire mediante spianatura con piccoli demolitori ed utilizzando un apposito comparatore in grado di assicurare il parallelismo delle aree di carico contrapposte. Le superfici di carico devono essere successivamente livellate mediante rasatura con un sottile strato di malta di cemento reoplastico.

Al centro di ogni area deve essere eseguito un foro di sondaggio di diametro  $\varnothing = 76$  mm e profondità  $p = 3,50$  m, nel quale viene montato un estensimetro a sei basi.

L'attrezzatura di contrasto deve essere costituita da un tubo metallico realizzato in parti componibili e da due ripartitori rigidi collegati alle due estremità del tubo di contrasto per mezzo di vitoni di regolazione. Tra

i due ripartitori e le aree di carico devono essere posizionati, per l'applicazione del carico, due martinetti piatti a corona circolare in lamiera saldata aventi diametro esterno di 50 cm e interno di 16 cm.

I valori del carico devono essere rilevati mediante una cella di pressione posizionata, in prossimità dei martinetti piatti, sulla linea di pressurizzazione.

Gli spostamenti superficiali devono essere rilevati da trasduttori situati al contorno della piastra di carico, secondo tre direzioni a 120° , alla distanza di 5 cm e 20 cm dal contorno della superficie caricata.

Un secondo tipo di strumentazione, montato entro fori di sondaggio eseguiti al centro delle aree di carico, deve consentire di determinare la propagazione degli spostamenti a differenti profondità dalla superficie di carico (indicativamente 5, 25, 50, 75, 100, 200 cm) rispetto ad un punto ritenuto fisso e situato a 300 cm di profondità. Gli strumenti interni devono essere montati in modo tale da fornire gli spostamenti relativi di ogni ancoraggio rispetto alla testa di misura, posta alla profondità nominale di 0,00 cm. Per ricavare gli spostamenti assoluti dei singoli ancoraggi si deve assumere come punto fisso di riferimento quello relativo all'ancoraggio montato più in profondità (300 cm).

Il trasduttore collegato a questo ancoraggio deve fornire pertanto la misura dello spostamento assoluto della testa di misura e da tale valore si ricavano, per differenza, gli spostamenti assoluti degli ancoraggi situati alle altre profondità.

Il rilevamento degli spostamenti in superficie e in profondità deve avvenire con trasduttori di tipo induttivo, collegati ad una apposita centralina.

L'acquisizione dei dati deve avvenire mediante calcolatore elettronico portatile con possibilità di registrazione dei dati anche senza la presenza continua di personale.

### C. Documentazione

La documentazione redatta al termine delle attività deve comprendere:

- documentazione fotografica;
- accurata descrizione litologica e geomeccanica dell'ammasso roccioso nel sito di prova, con rilievo e misura della giacitura nello spazio dei piani di discontinuità;
- procedura di prova e formulazione matematica per il calcolo del modulo di deformabilità;
- tabelle e diagrammi del carico applicato in funzione del tempo e degli spostamenti per ciascun trasduttore o gruppo di trasduttori omogenei nel caso di piastra rigida;
- valori del modulo di deformabilità e del modulo elastico calcolati per i differenti cicli di carico e scarico eseguiti.

### 3.5.4. Prove in sito in foro di sondaggio

#### Prova penetrometrica dinamica tipo SPT

##### Generalità

Questa prova consente di determinare la resistenza di un terreno alla penetrazione dinamica di un campionatore infisso a partire dal fondo di un foro di sondaggio.

Normative e raccomandazioni di riferimento:

- ASTM - D1586-99 (2001) - "Standard Test Method for Penetration Test and Split-Barrel Sampling of Soil".
- Associazione Geotecnica Italiana (1977) - "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione dell'indagine geotecniche".
- ISSMFE Technical Committee (1988) – "Standard Penetration Test (SPT: International Reference Test Procedure".

##### A. Attrezzatura

###### A1. Dispositivo di battitura

Il dispositivo di battitura, di peso totale non superiore a 115 kg, deve comprendere:

- una testa di battuta di acciaio avvitata sulle aste;
- un maglio di acciaio da 63,5 kg ( $\pm 0,5$  kg);
- un dispositivo di guida e di sganciamento automatico del maglio, che assicuri una corsa a caduta libera di 0,76 m ( $\pm 0,03$  m).

###### A2. Aste

Le aste di battuta devono avere diametro esterno di 50 mm ed essere del tipo serie rigida (7,23 kg/m).

RFI si riserva la facoltà di far adottare diametro e serie delle aste diverse da quelle sopra indicate.

Le suddette aste dovranno rispondere comunque ai requisiti riportati nelle procedure ISSMFE.

Se la differenza tra il diametro esterno delle aste e il diametro interno della tubazione di rivestimento del foro è maggiore o uguale a 60 mm, devono essere usati appositi distanziatori (alette di irrigidimento) ad intervalli di circa 3 m lungo la colonna, per ridurre la flessione delle aste durante la battitura.

Le aste devono essere perfettamente dritte ed in sito devono essere controllate periodicamente.

Ciascuna asta, nella sua lunghezza totale, deve presentare una flessione inferiore all'1‰.

Le aste devono essere strettamente avvitate in corrispondenza dei giunti.

###### A3. Campionatore Raymond

Tubo campionatore in acciaio indurito con superfici lisce, apribile longitudinalmente:

- Diametro esterno :  $\varnothing_{est} = 51 \pm 1$  mm
- Diametro interno :  $\varnothing_{int} = 35 \pm 1$  mm
- Lunghezza minima escluso tagliente principale :  $L_{min} \geq 457$  mm
- Lunghezza scarpa tagliente terminale con rastremazione negli ultimi 19 mm:  $l = 76 \pm 1$  mm

Il campionatore, nell'estremità superiore, sarà dotato di valvola a sfera e aperture di scarico a sfiato; la valvola deve essere a tenuta d'acqua nella fase di estrazione del campionatore.

Non è prevista la dotazione di punta conica per la sostituzione del tagliante terminale.

La scarpa del campionatore è costituita da acciaio indurito e deve essere riparata o sostituita quando è sbeccata o distorta.

### B. Modalità esecutive

Le prove devono, di norma, essere effettuate entro fori rivestiti con tubazioni di diametro interno compreso tra 80 e 110 mm, alle profondità stabilite da RFI.

Le fasi da seguire sono le seguenti:

- a) controllo con scandaglio della quota del fondo foro confrontandola con quella raggiunta con la manovra di perforazione o di pulizia precedentemente fatta. Potrà risultare dal controllo che la quota misurata sia più alta, per effetto di refluenti del fondo o per decantazione di detriti in sospensione nel fluido. Se tale differenza supera 7 cm la prova non potrà essere eseguita; si dovrà pertanto procedere ad una ulteriore manovra di pulizia;
- b) posizionamento a fondo foro della batteria di prova. La quota di inizio della prova SPT dovrà corrispondere a quella misurata mediante il controllo di cui sopra che potrà coincidere con quella di perforazione o pulizia ma potrà essere anche ( fino a 7 cm) superiore; l'eventuale affondamento del campionatore, per peso proprio e delle aste, dovrà essere annotato.

La distanza tra la testa di battuta e la sommità del rivestimento non deve essere superiore a m 1,50.

Il campionatore deve essere infisso, con un ritmo di battuta di circa 20÷30 colpi al minuto, per 3 tratti consecutivi di 15 cm determinando il numero di colpi della massa battente necessario per la penetrazione di ciascun tratto di 15 cm.

Qualora il numero di colpi per l'affondamento della punta per il primo tratto (N1) raggiunga il numero di 50 e l'avanzamento risultasse minore a 15 cm la prova si intende conclusa; in tal caso deve essere registrata la penetrazione ottenuta con i suddetti 50 colpi.

Se il tratto di avviamento è superato con N1 minore o uguale a 50 colpi, la prova prosegue ed il campionatore viene infisso per un secondo tratto di 30 cm, contando separatamente il numero di colpi necessari per la penetrazione dei primi e dei secondi 15 cm (N2 ed N3) fino al limite di 100 colpi (N2+N3=100). Se con  $N2 + N3 = 100$  non si raggiunge l'avanzamento di 30 cm, l'infissione viene sospesa, la prova è considerata conclusa e viene annotata la relativa penetrazione.

L'eventuale affondamento del campionatore per peso proprio, delle aste e della testa di battuta deve essere annotato ma deve essere considerato già parte integrante dei 45 cm di infissione complessivi del campionatore.

Durante l'estrazione della batteria il fluido di circolazione deve essere mantenuto costante alla quota del piano di lavoro.

Il materiale contenuto nel campionatore, dopo l'esecuzione della prova, deve essere misurato, descritto ed inserito (tralasciando la parte alta del campione) in un involucro di plastica con l'indicazione della quota di esecuzione della prova stessa e deve essere inviato al Laboratorio Geotecnico oppure, se richiesto, conservato in un luogo adatto per tutta la durata dell'indagine.

In presenza di strati di terreno con ghiaia o in presenza di livelli cementati, la scarpa del penetrometro campionatore potrà essere sostituita da una punta conica solamente a seguito di una esplicita autorizzazione di RFI.

### C. Documentazione

Al termine di ogni verticale l'Affidatario deve compilare un modulo nel quale devono essere riportati, per ciascuna prova, anche i seguenti elementi:

a) per ciascuna prova eseguita:

- quota della tubazione provvisoria di rivestimento del foro, riferita al piano di campagna;
- quota raggiunta con la manovra di perforazione o pulizia, riferita al piano di campagna;
- quota del fondo foro controllata con scandaglio prima di iniziare la prova (= quota inizio prova), riferita al piano di campagna;
- affondamento per peso proprio delle aste e della testa del campionatore;
- numero di colpi per infissione di ciascuno dei tre tratti di 15 cm, oppure penetrazione misurata dopo raggiunto il limite dei colpi;
- peso per metro lineare delle aste impiegate;
- lunghezza e descrizione litologica del campione estratto;
- tipo di campionatore impiegato.

b) per ciascuna verticale indagata:

- il grafico  $N_{spT}$  in funzione della profondità;
- eventuali annotazioni dell'operatore e data di esecuzione.

### **Prova pressiometrica Menard**

#### Generalità

La prova con pressiometro tipo Menard si esegue misurando in un punto prestabilito del foro di sondaggio la deformazione del terreno quando questi viene sollecitato mediante l'espansione radiale di una sonda cilindrica posta a contatto con le pareti del foro stesso.

Normative e raccomandazioni di riferimento:

- ASTM D4719-00 - "Standard Test Method for Prebored Pressuremeter Testing in Soils".
- NF P49-110 - "Essai pressiométrique Menard", Norme Francaise.
- Lab. Central des Ponts et Chauss. (1971) - "Essai pressiométrique normal. Mode opératoire. MS.IS-2", Parigi.
- Lab. Central des Ponts et Chauss. (1988) - "Essai pressiométrique normal", n. 15-10.

#### A. Attrezzatura

##### A1. Sonda pressiometrica

Sonda cilindrica ad espansione idraulica, costituita da una cella centrale di misura espandibile radialmente e da due celle di confinamento poste alle estremità della cella di misura; le celle di confinamento devono impedire, durante la prova, deformazioni della cella di misura che non siano quelle radiali.

Devono essere utilizzate sonde pressiometriche di norma di diametro 44 e 58 mm con un rapporto lunghezza (comprese celle)/diametro pari ad almeno 6.

Le pareti della cella di misura consisteranno di una membrana di gomma e di un involucro deformabile esterno in grado di adattarsi alla forma progressivamente assunta dalle pareti del foro nel corso della prova. La membrana potrà essere protetta da un involucro esterno a lamelle metalliche parzialmente so-



vrapposte, qualora reso necessario della natura del terreno.

#### A2. Apparato di espansione

L'apparato di espansione delle celle deve permettere di variare il volume e la pressione all'interno delle stesse in forma del tutto regolabile e controllabile mediante la centralina di misura. La cella di misura sarà espansa mediante pressione idraulica (tipo Menard GB); le celle di confinamento mediante pressione idraulica o di gas (tipo Menard GC).

#### A3. Tubi di connessione

I tubi di connessione delle celle con gli apparati di espansione e di misura saranno di tipo plastico rigido, preferibilmente coassiali, con gas a pressione regolabile nell'intercapedine in modo da prevenire e contenere le variazioni di volume in corso di prova.

#### A4. Centralina di misura

La centralina di misura deve includere un meccanismo per l'applicazione di incrementi controllati di pressione o volume alla cella di misura ed un regolatore della pressione del gas nelle celle di guardia.

Le pressioni applicate devono essere misurate mediante manometri di precisione con fondo scala di 2,5÷10 MPa e risoluzione di 25 kPa nel caso dei terreni e con fondo scala di 10÷30 Mpa nel caso di rocce tenere.

Le variazioni di volume devono essere misurate mediante tubicini graduati con risoluzione di circa 1 cm<sup>3</sup>.

Sarà presente un dispositivo per amplificare di almeno 50 volte la sensibilità di lettura delle variazioni di volume, da impiegarsi quando tali variazioni diventino inferiori a 0,5 cm<sup>3</sup> per incrementi di pressione di 1 bar.

### B. Tarature

Prima di iniziare la prova, si procederà alla taratura del sistema determinando quanto segue:

#### B1. Perdite di pressione Pc

Le perdite di pressione sono legate alla inerzia della cella di misura, che deve essere misurata espandendo la stessa alla pressione atmosferica mediante incrementi di pressione da 10 kPa ciascuno, da mantenersi per 60 sec, con letture di volume al termine di tale tempo.

Se richiesto dalle successive modalità di prova, la taratura si eseguirà con incrementi di volume della sonda pari al 5% del volume V, da applicarsi in 10 sec e mantenuti per 60 sec prima della lettura di pressione.

Queste misure dovranno essere eseguite prima di ogni prova ad ogni cambio della membrana della cella di misura.

#### B2. Perdite di volume Vc

Le perdite di volume dovute alla espansione dei tubi di collegamento saranno predeterminate pressurizzando progressivamente l'apparato di prova in superficie dopo aver chiuso la sonda in un contenitore metallico che ne impedisca ogni espansione, registrando pressioni e volumi.

### B3. Misura del livello piezometrico

Il livello piezometrico nel foro deve essere misurato immediatamente prima della prova in foro e registrato.

### C. Modalità esecutive

Prima di posizionare la sonda pressiométrica nel foro, si procederà alla accurata lettura del volume V (volume della cella di misura alla pressione atmosferica). Tutti i circuiti saranno disaerati e i manometri azzerati con sonda a piano campagna. Il circuito per il controllo dei volumi sarà quindi chiuso e la sonda calata nel foro in queste condizioni.

La profondità di prova viene assunta essere quella corrispondente al punto medio della cella di misura.

Preparato il foro, che deve essere perfettamente pulito, la sonda pressiométrica sarà posizionata alla quota indicata dal programma. In accordo alle indicazioni del programma, la prova pressiométrica potrà essere eseguita in conformità ai due metodi descritti di seguito. Si noti che la pressione che deve essere mantenuta nelle celle di confinamento laterale durante la prova deve sempre essere inferiore a quella agente all'interno della cella di misura e sarà definita in base alla espressione  $P_g = P_r + P_w - P_d$ , dove:

$P_g$  = pressione celle di guardia

$P_r$  = pressione letta al manometro

$P_w$  = pressione idrostatica agente tra unità di misura e sonda pressiométrica a quota prova

$P_d$  = differenza di pressione tra cella di misura e celle di guardia.

### C1. Preparazione del foro

La perforazione del tratto da sottoporre a prova deve essere eseguita con carotaggio del terreno con attrezzature e metodologie tali da ridurre al minimo il disturbo indotto nel terreno stesso.

A tal fine essa deve essere eseguita immediatamente prima di procedere alla prova pressiométrica, in modo da limitare al minimo il rigonfiamento dovuto al rilascio tensionale ed alla presenza di fluido di circolazione statico. La manovra di perforazione deve essere di lunghezza non superiore a 150 cm.

Il diametro della perforazione nel tratto di prova deve essere compreso fra 1,03 D e 1,2 D, essendo D il diametro della sonda pressiométrica.

Saranno ammesse varie tecniche di perforazione in relazione al tipo di terreno, con preferenza per il carotaggio integrale con carotieri semplici e doppi, preferibilmente con corone diamantate o comunque molto affilate, con pressione applicata all'utensile in fase di avanzamento inferiore a 200 kPa, numero di giri inferiore a 60 r.p.m., pressione di fluido contenuta e tendenzialmente inferiore a 15 l/min. La tecnica di perforazione dovrà essere comunicata a RFI.

L'intervallo tra le prove, in uno stesso foro, non deve essere inferiore ad 1 metro.

### C2. Metodo degli uguali incrementi di pressione

La sonda verrà posizionata e la pressione incrementata con uguali intervalli di crescita, fino a che l'espansione della cella nel corso di un incremento di carico diventa maggiore di circa 1/4 dell'originale volume della cella di misura. I valori di ciascun incremento dovranno essere in accordo al programma o definiti nel corso della prova stessa, e comunicati a RFI; in ogni caso si raccomanda l'impiego di un numero minimo di 7÷10 incrementi.

E' richiesta, inoltre, l'esecuzione di almeno un ciclo di scarico-ricarico in corrispondenza del termine del tratto a comportamento elastico; il dovrà comprendere almeno n. 1 gradino di scarico (pari in genere al 25% della pressione raggiunta e comunque inferiore al 50%) e n. 2 gradini di ricarica.

### C3. Metodo degli uguali incrementi di volume

La sonda verrà posta in posizione ed il volume della cella di misura aumentato con incrementi uguali, di valore pari a  $0,05 \div 0,1$  volte il volume iniziale  $V$ , fino ai limiti naturali dell'apparato di prova.

In entrambe le procedure di prova, le letture relative alle variazioni di volume della sonda (quindi del terreno) dovranno essere effettuate dopo 30 sec e dopo 60 sec dall'applicazione dell'incremento di pressione o volume; le misure dovranno essere registrate con una precisione pari a 0,2% del volume della cella di misura in condizioni di pressione atmosferica e pari al 5% del valore della pressione limite.

Analogamente a quanto richiesto al punto C2. dovrà essere eseguito almeno un ciclo di scarico-ricarico nel tratto a comportamento elastico.

Raggiunti i massimi valori di pressione o di volume, la sonda sarà depressurizzata e riportata in superficie.

### D. Documentazione

Per ogni prova dovranno essere consegnati i seguenti elaborati:

- a) RELAZIONE DI PROVA recante indicazione su:
  - cantiere e numero di sondaggio;
  - profondità di prova;
  - la variazione diretta della pressione limite;
  - il rilievo continuo dei valori ottenuti;
  - il diagramma dei volumi in funzione delle pressioni applicate.
- b) RELAZIONE DESCRITTIVA con nota interpretativa dei dati onde pervenire alla valutazione dei seguenti parametri:
  - pressione orizzontale a riposo;
  - modulo di deformazione pressiometrico;
  - resistenza al taglio;
  - pressione limite;
  - descrizione delle modalità di perforazione e del diametro relativo;
  - descrizione stratigrafica del terreno nell'intervallo di prova;
  - descrizione delle condizioni atmosferiche e della temperatura.

## **Prova scissometrica in foro di sondaggio**

### Generalità

La prova scissometrica misura la resistenza al taglio non drenata nei terreni coesivi saturi; si esegue inserendo nel terreno naturale una paletta-scissometro con sezione a croce greca e misurando lo sforzo torsionale che occorre applicare per portare a rottura il terreno stesso.

Normative e raccomandazioni di riferimento:

- ASTM D 2573-94 - "Standard Test Method for Field Vane Shear Test in Cohesive Soil".
- Associazione Geotecnica Italiana (1977) - "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche".

## A. Attrezzatura

### A1. Palette e aste di collegamento

Le palette devono essere costituite da 4 lame rettangolari, ortogonali, di lamiera d'acciaio saldate lungo uno dei lati maggiori.

Le dimensioni delle palette scissometriche devono essere tali da avere un rapporto altezza/diametro uguale a 2. Il diametro sarà compreso tra 50 e 100 mm e lo spessore della paletta sarà tale che la sezione a croce della paletta non deve superare il 10% dell'area della base del cilindro generato dalla sua rotazione.

La paletta è collegata alla superficie mediante una batteria di aste d'acciaio. Le aste debbono presentare elevate caratteristiche di rigidità a torsione e flessione affinché gli sforzi applicati all'estremità superiore vengano trasmessi integralmente a quella inferiore, cioè alla paletta.

### A2. Rivestimento

I tubi di rivestimento svolgono le seguenti funzioni:

- irrigidimento della batteria di aste;
- reazione allo sforzo di torsione applicato in superficie;
- trasmissione della spinta verticale necessaria per l'infissione del dispositivo alla profondità richiesta.

Le aste di collegamento devono ruotare senza attriti all'interno del rivestimento; la centratura delle due batterie dovrà essere garantita dalla presenza di centratori a cuscinetti a sfera posizionati ogni 2-3 metri circa di batteria.

### A3. Strumento di torsione

Lo strumento di torsione viene applicato all'estremità superiore della batteria di aste che collegano la paletta - scissometro ed è collegato all'estremità della batteria di rivestimento (per la necessaria reazione); per mezzo di questo strumento si applicano e si misurano mediante un dinamometro gli sforzi di torsione necessari per portare a rottura il terreno in corrispondenza della paletta.

Lo strumento di torsione deve possedere i seguenti requisiti:

- impermeabilità all'acqua;
- sensibilità < di 1% dello sforzo massimo applicabile;
- indicatore del massimo sforzo raggiunto nella prova;
- indifferenza alle variazioni della temperatura ambiente.

## B. Controlli e modalità esecutive

Prima di eseguire la prova deve essere accertato che l'estremità inferiore dell'apparecchio sia in perfetta efficienza.

In particolare si deve controllare che:

- l'asta inferiore e la paletta ad essa saldata siano verticali e senza distorsioni;
- il tubetto che protegge l'astina dagli attriti del terreno sia perfettamente calibrato;
- i cuscinetti reggispinga e l'intercapedine tra paletta e relativa "protezione" siano pieni di grasso.

Prima di eseguire la prova deve essere consegnato a RFI un certificato di taratura dello strumento in data non anteriore a 6 mesi a quella di esecuzione della prova.

La prova deve essere eseguita con le seguenti modalità:

- infiggere la batteria, con paletta alloggiata nella scarpa di protezione, nel terreno fino a 50 cm sopra la quota stabilita per la esecuzione della prova;
- infiggere la sola paletta nel terreno, agendo sulla batteria di aste interne, fino a fine corsa (circa 50 cm);
- bloccare in sommità la batteria di rivestimento;
- applicare lo strumento di torsione e controllare il suo perfetto azzeramento;
- applicare il momento torcente fino a raggiungere il suo valore massimo (resistenza a rottura del terreno) annotando la lettura (Mmax);
- togliere lo strumento di torsione e ruotare la batteria di aste, e quindi la paletta, per 10 giri completi; questa operazione deve essere svolta rapidamente e senza spostamenti verticali della batteria;
- attendere 1÷2 minuti primi;
- riapplicare lo strumento di torsione e ripetere la prova fino a nuova rottura del terreno annotando la lettura massima (MR) corrispondente alla resistenza in condizioni di completo rimaneggiamento;
- togliere la testa di torsione e riportare la paletta all'interno della scarpa di protezione.

Nel corso della prova, la velocità di rotazione della paletta deve essere mantenuta costante e pari a circa 6° al minuto primo; inoltre per tenere conto della torsione delle aste, deve essere applicata una velocità di rotazione di 6° al minuto primo, per prove superficiali, aumentando tale velocità di circa 1° al minuto primo ogni 5 m di maggiore profondità.

La paletta da impiegare deve essere scelta in base alla prevedibile resistenza del terreno, tenendo presente che deve, per quanto possibile, operare nella zona centrale del quadrante dello strumento di torsione.

### C. Documentazione

Per ogni prova deve essere fornito la seguente documentazione finale:

- cantiere e numero di sondaggio ed ubicazione planimetrica;
- profondità della misura dalla bocca foro;
- diametro e profondità raggiunta dal rivestimento;
- tipo di attrezzatura usata e certificato di taratura del dispositivo di torsione;
- dimensioni delle palette;
- valori della resistenza massima e residua determinata dopo rimaneggiamento del terreno;
- descrizione geotecnica, previo carotaggio, del tratto di terreno provato.

Inoltre per ogni verticale indagata deve essere consegnato il grafico con riportati i risultati delle prove (Cu max e Cu residua) in funzione della profondità.

### **Misura dello stato di sollecitazione mediante tecnica del sovraccarotaggio (prova Doorstopper)**

#### Generalità

Questa prova serve a determinare lo stato tensionale in sito entro ammassi rocciosi in condizioni quasi in-

disturbate, tramite la misurazione con cella estensimetrica delle deformazioni che si producono nella parte centrale di un foro di sondaggio a seguito della liberazione di tensioni ottenute mediante sovraccarotaggio.

Normative e raccomandazioni di riferimento:

- ISRM - "Suggested methods for rock stress determination", 1987.

#### A. Attrezzatura

Per l'esecuzione delle prove deve essere utilizzata un'attrezzatura di perforazione costituita di:

- sonda di perforazione;
- carotiere a parete sottile  $\varnothing_{est} = 76$  mm;
- utensili spianatori diamantati per il fondo foro.

L'attrezzatura per le prove deve comprendere:

- celle doorstopper con rosetta estensimetrica;
- attrezzatura per l'installazione delle celle nel foro;
- strumentazione di acquisizione dati corredata da apposita centralina;
- pressa radiale per la determinazione del modulo di elasticità;
- hardware e software per l'elaborazione dati.

#### B. Modalità esecutive

Per l'esecuzione della prova si devono rilevare, sul fondo opportunamente spianato di un foro di sondaggio di diametro  $\varnothing = 76$  mm, le deformazioni indotte dalla liberazione delle tensioni al seguito delle operazioni di sovraccarotaggio mediante corona diamantata anulare ( $\varnothing_{est} = 76$  mm,  $\varnothing_{int} = 62$  mm). Le deformazioni devono essere rilevate con rosette estensimetriche incollate sul fondo foro, composte da 4 estensimetri elettrici di base 10 mm disposti a  $90^\circ$  l'uno dall'altro.

Il modulo di deformabilità deve essere determinato per ogni singolo campione intatto mediante prove di compressione radiale, rilevando le deformazioni indotte mediante la stessa apparecchiatura e le stesse rosette estensimetriche usate nella fase di liberazione delle tensioni.

Note le caratteristiche di deformabilità ed adottando un modello che assimili il comportamento della roccia a quello di un mezzo omogeneo ed isotropo si può risalire allo stato di sollecitazione esistente sul piano normale del foro prima dell'esecuzione del foro stesso.

La combinazione delle prove in sito (rilevamento delle deformazioni conseguenti alla liberazione delle tensioni durante il sovraccarotaggio) e delle prove in laboratorio (rilevamento delle deformazioni conseguenti al carico noto mediante pressa radiale) deve consentire di ottenere le informazioni necessarie a determinare lo stato di sollecitazione nell'ammasso roccioso.

Le prove effettuate in un singolo foro devono consentire di determinare lo stato di sollecitazione esistente sul piano normale dell'area del foro, mentre le prove realizzate in 3 fori possibilmente ortogonali tra loro consentono la determinazione, mediante opportuni codici di calcolo, dello stato di sollecitazione naturale.

#### C. Documentazione

Per ogni prova o serie di prove dovranno essere consegnati i seguenti elaborati:

- a) RELAZIONE TECNICA contenente:
  - i risultati delle singole prove e la loro profondità nel foro;

- i valori delle deformazioni rilevate dai 4 estensimetri di ogni rosetta ed i valori delle deformazioni ricalcolate e corrette;
- le deformazioni principali e, nel caso di terne di prove eseguite entro fori diversamente orientati, l'angolo fra deformazione principale max ed il piano orizzontale;
- il modulo elastico di ogni singolo campione;
- il coefficiente di Poisson;
- gli sforzi principali.

Tali valori dovranno essere presentati sia in forma tabellare, sia mediante rappresentazioni grafiche degli sforzi in funzione dell'angolo su reticolo equiareale di Schmidt.

### Prova di fratturazione idraulica in fori di sondaggio

#### Generalità

Questa prova serve a determinare lo stato di sollecitazione naturale di un ammasso roccioso mediante l'applicazione, in un tratto di foro di sondaggio isolato con due otturatori, di una pressione idraulica mediante una portata costante di fluido.

Normative e raccomandazioni di riferimento:

- ASTM D4645-87 (1997) – "Standard Test Method for Determination of the In-Situ Stress in Rock Using the Hydraulic Fracturing Method".
- ISRM (1987) - "Suggested methods for rock stress determination".

#### A. Attrezzatura

L'attrezzatura deve essere costituita da un doppio packer gonfiabile da alta pressione (sonda di fratturazione), da un packer per rilievo di impronta munito di bussola elettronica e rivestito di un apposito strato di gomma sostituibile (packer ad impressione), da una unità di comando per la pressurizzazione degli otturatori e della sezione di prova, dalle pompe volumetriche (70 MPa) e tubi flessibili da alta pressione. Inoltre deve comprendere un sistema di acquisizione dei dati pressione - tempo e portata - tempo analogico, ed un sistema di acquisizione digitale. La pressione può essere misurata sia con trasduttori di fondo foro situati nella sonda di fratturazione sia con manometri posti in superficie all'uscita delle pompe.

L'attrezzatura deve essere adatta all'utilizzo in tratti di foro non rivestiti con diametro calibrato  $\varnothing = 76$  mm.

#### B. Modalità esecutive

Dopo aver selezionato l'esatta posizione della prova in base a ispezione visiva delle carote estratte nel carotaggio, la sonda di fratturazione deve essere posizionata mediante l'utilizzo di aste con diametro 43 mm, manovrate a mano o mediante paranco per profondità dalla bocca foro fino a 30 m in orizzontale e 75 m in verticale (verso il basso), oppure da una sonda di perforazione.

In corrispondenza di ammassi rocciosi con caratteristiche tali da compromettere la stabilità delle pareti del foro si dovrà prevedere il rivestimento del foro fino alla sezione interessata dalla prova di fratturazione con tubazione avente diametro interno maggiore di 76 mm.

I campioni di roccia prelevati nella sezione di prova verranno utilizzati per l'esecuzione di prove di fratturazione idraulica in laboratorio per l'acquisizione dei parametri necessari all'interpretazione corretta delle prove in sito.

La prova deve essere eseguita pressurizzando a portata costante il doppio packer e la sezione di prova

(interposta tra due elementi gonfiabili del doppio packer) fino a produrre l'innesco di una frattura.

L'innesco di una frattura idraulica si manifesta con una brusca caduta di pressione nella sezione di prova. Ai primi segnali di tale fenomeno deve essere interrotta l'iniezione di fluido per valutare la pressione di innesco della frattura e la pressione di chiusura (shut - in pressure).

Dopo un intervallo di tempo (minimo 5 minuti) da decidersi sul luogo in funzione del comportamento della roccia, si deve depressurizzare il sistema "packers-sezione di prova" e ripetere la procedura precedentemente descritta almeno 3 volte, eseguendo quindi, dopo il primo ciclo di innesco della frattura, almeno tre cicli di riapertura della frattura, in cui si misurano la pressione di riapertura e la pressione di chiusura della frattura.

La velocità di pressurizzazione dovrà essere di circa 3 MPa/min fino alla creazione di una nuova frattura o alla riapertura di una preesistente nel tratto di roccia pressurizzata; la pressione degli otturatori dovrà essere mantenuta più elevata di circa 1-3 MPa.

Nell'ultimo dei cicli deve essere indotta per alcuni minuti la propagazione della frattura, iniettando fluido a portata costante anche dopo la riapertura della stessa.

Esaminando i grafici pressione/tempo si decide quali e quanti rilievi di impronta siano necessari.

Per ogni rilievo di impronta si deve calare il packer ad impressione, per determinare l'orientazione della frattura indotta. Per l'installazione del packer ad impressione si deve utilizzare la stessa attrezzatura utilizzata per la manovra della sonda di fratturazione.

### C. Documentazione

Al termine delle campagne di prove deve essere consegnata la seguente documentazione:

- a) RELAZIONE CONCLUSIVA INTERPRETATIVA dei risultati ottenuti contenente tra l'altro:
  - profondità e modalità esecutiva della prova;
  - diagrammi pressione - tempo relativamente alla sezione di prova ed ai packers per ciascuna prova;
  - diagrammi delle prove di laboratorio;
  - rappresentazioni grafiche su reticolo equiareale di Schmidt degli sforzi principali;
  - tabelle con dati riguardanti intensità e orientamento degli sforzi principali.

### **Prova dilatometrica in roccia in fori di sondaggio**

#### Generalità

Prova per la determinazione delle caratteristiche di deformabilità della roccia in foro di sondaggio mediante sonda dilatometrica dotata di trasduttori per la misura delle deformazioni indotte dalla espansione dello strumento.

Normative e raccomandazioni di riferimento:

- ISRM - "Suggested methods for deformability determination using a flexible dilatometer", 1987

#### A. Attrezzatura

Per l'esecuzione di queste prove deve essere utilizzata una sonda dilatometrica avente diametro  $\varnothing = 95$  mm, con la lunghezza utile di 1000 mm. In alternativa, previa autorizzazione di RFI, può essere utilizzata una sonda di diametro pari a 70 mm all'interno di un foro di sondaggio di diametro pari a 76 mm.



La sonda, che trasmette il carico alle pareti laterali del foro, deve essere costituita da un corpo in acciaio rivestito da una guaina in gomma armata; la pressione all'interno della guaina deve essere applicata mediante gas azoto tramite un sistema di aste tubolari componibili in acciaio, provviste di dispositivo di innesto a tenuta idraulica. La pressione del gas all'interno del dilatometro deve essere misurata da un trasduttore estensimetrico.

Tale attrezzatura deve essere utilizzata in fori di sondaggio calibrati di diametro  $\varnothing = 101$  mm (o 76 mm). I fori devono essere stabili con le pareti perfettamente regolari e prive di cavità. Ove necessario, deve essere eseguita una preventiva cementazione del foro e successiva riperforazione con lo stesso diametro  $\varnothing = 101$  mm (o 76 mm).

#### B. Modalità esecutive

Le prove dilatometriche devono essere eseguite in fori di sondaggio ubicando i punti di prova sulla base dell'analisi delle carote estratte dai sondaggi stessi o mediante ispezioni con sonda televisiva.

Le deformazioni della roccia per effetto dell'applicazione della pressione devono essere misurate mediante tre trasduttori di spostamento potenziometrici, disposti secondo tre direzioni a  $120^\circ$  nella zona mediana del dilatometro. Le aste di alimentazione, corredate da un'apposita bussola, devono consentire di orientare opportunamente le direzioni dei trasduttori di misura ad ogni prova.

La misura della pressione e degli spostamenti deve essere trasmessa mediante cavo elettrico multi conduttore ad una centralina che si trova in superficie, collegata ad un calcolatore elettronico portatile.

La prova si dovrà effettuare partendo da una pressione di fondo tale da assicurare il contatto tra la guaina in gomma e le pareti del foro.

Si dovranno eseguire almeno 2 cicli di carico e scarico a 3 diversi livelli di sollecitazione prefissati.

La velocità di incremento del carico indicativamente sarà mantenuta pari a circa 0,05 MPa/sec; in corrispondenza del carico di fondo e del massimo carico raggiunto per ogni ciclo, si misureranno le deformazioni a carico costante ai tempi di 3' e 5' rispettivamente.

#### C. Documentazione

Al termine della campagna di prove deve essere consegnata la seguente documentazione:

- a) RELAZIONE CONCLUSIVA INTERPRETATIVA dei risultati ottenuti contenente tra l'altro:
  - profondità e modalità esecutiva della prova;
  - planimetria e/o sezioni verticali con l'ubicazione dei punti di prova;
  - diagrammi pressione - variazione diametrale relativi a ciascun trasduttore ed alla media dei tre trasduttori;
  - tabelle con i valori numerici ottenuti dalle prove;
  - tabelle con i valori dei moduli di deformabilità calcolati;
  - diagrammi con i valori di modulo in funzione delle profondità (ove applicabile).

#### **Prova di emungimento acqua all'interno di pozzi**

##### Generalità

Metodo di prova atto alla definizione delle caratteristiche di un acquifero in termini di permeabilità, trasmissività e coefficiente di immagazzinamento.

Normative e raccomandazioni di riferimento:

- Associazione Geotecnica Italiana (1977) - "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche".

#### A. Attrezzatura

Per l'esecuzione della prova devono essere disponibili, ed idonee all'impiego specifico, le seguenti attrezzature ed apparecchiature:

- due pompe centrifughe di tipo sommerso (di cui una di riserva) con caratteristiche di portata e prevalenza idonee a soddisfare le esigenze specifiche della prova e comunque non inferiori a 40 lt/sec complete, sulle tubazioni di mandata, di valvole di regolazione della portata;
- due gruppi elettrogeni (di cui uno di riserva) idonei a fornire la potenza elettrica necessaria per l'azionamento delle pompe sommerse, nelle condizioni di portata e prevalenza di cui al precedente punto;
- vasca di calma fornita di idonei setti di smorzamento in cui convogliare l'acqua edotta;
- idoneo contalitri montato a valle del dispositivo di regolazione;
- dispositivo a stramazzo;
- un recipiente indeformabile per misure volumetriche;
- due pompe (una di riserva) di portata e prevalenza adeguate per lo smaltimento dell'acqua emunta;
- freatimetri, in numero adeguato alle verticali di controllo piezometrico ed alle cadenze di lettura prestabilite, per la misura manuale del livello della falda;
- cronometri, in numero adeguato alle verticali di controllo piezometrico ed alle cadenze di lettura prestabilite;
- termometro per la misura della temperatura dell'acqua effluente;
- conduttimetro per la misura della conducibilità elettrica dei campioni d'acqua prelevati.

#### B. Controlli e modalità esecutive

Alcuni giorni prima della prova, nel pozzo in cui deve essere eseguita la prova di emungimento, deve essere effettuata un'accurata pulizia e spurgo ed inoltre deve essere determinata la curva di taratura (portata - abbassamento di livello) del pozzo stesso.

Deve essere controllato il buon funzionamento di tutte le attrezzature, dispositivi di prova e dei piezometri di controllo.

Per disporre di informazioni sull'entità di eventuali precipitazioni atmosferiche che dovessero verificarsi prima e/o durante la prova, deve essere installato un pluviometro nelle adiacenze della verticale di prova.

In presenza di corsi o specchi d'acqua nelle vicinanze della verticale di prova devono essere installati uno o più idrometri, per verificare eventuali interferenze tra la falda ed il livello libero delle acque superficiali.

Nel corso delle 48 ore precedenti l'inizio della prova deve essere rilevato e registrato il livello della falda nel pozzo e nei piezometri di controllo alla stessa ora di ogni giorno, per determinare, se misurabile, una eventuale significativa variabilità del livello dell'acqua.

Se tale tendenza dovesse evidenziarsi, deve essere redatto un grafico con indicazione della variazione del livello della falda con il tempo; tale grafico sarà impiegato come curva di correzione delle letture piezometriche eseguite nel corso della prova di emungimento.

Immediatamente prima dell'inizio della prova devono essere eseguite e registrate le letture del livello della falda nel pozzo e nei piezometri di controllo per determinare il livello statico di riferimento al tempo zero.

Di norma le prove saranno eseguite per diversi valori della portata della pompa (almeno tre gradini a portata costante) per un periodo di tempo compreso tra 1 e 3 ore e comunque tale da permettere la stabilizzazione del livello dinamico.

La prova di emungimento deve essere eseguita mantenendo costante ( $\pm 5\%$ ) dopo il periodo transitorio iniziale, il valore prefissato della portata erogata dalla pompa e rilevando nel pozzo e nei piezometri di controllo le variazioni del livello della falda, in funzione del tempo decorso dall'inizio della prova secondo una cadenza temporale approvata da RFI.

La misura della portata emunta deve essere effettuata ad intervalli regolari.

La prova di emungimento si intende conclusa, e quindi il funzionamento della pompa arrestato, quando sulla base dei dati raccolti con le misure nei piezometri di controllo le variazioni del livello della falda risultano trascurabili.

L'acqua emunta durante la prova deve essere convogliata, mediante una pompa di rilancio corredata di idonee tubazioni, in un punto di scarico situato ad una distanza sufficiente per evitare interazioni significative con la falda o che sia isolato idraulicamente dalla falda stessa (200-500 m).

Durante il corso della prova devono essere eseguite, ad intervalli prestabiliti, misure di temperatura dell'acqua effluente, devono essere prelevati campioni d'acqua ed eseguite misure di conducibilità.

Arrestato il funzionamento della pompa, deve essere proseguito il rilievo del livello della falda per tutta la fase di risalita sino alla stabilizzazione di detto livello.

Per lo studio delle caratteristiche dell'acquifero con misure della trasmissività e del coefficiente di immagazzinamento, RFI potrà richiedere l'esecuzione di prove di lunga durata con un solo gradino di portata costante, prolungata per almeno 42 ore e fino ad un massimo di 72 ore.

### C. Documentazione

Al termine delle attività deve essere consegnata a RFI la seguente documentazione:

- determinazione della curva di taratura del pozzo;
- determinazione della curva di taratura dello stramazzo;
- verifica funzionamento piezometri, misura livello pluviometro, misura livelli idrometri, lettura delle profondità del livello della falda nel pozzo e nei piezometri di controllo;
- misura delle profondità del livello della falda nei piezometri di controllo durante la prova di emungimento;
- misura della profondità del livello della falda nei piezometri di controllo durante la risalita del livello;
- grafico portata - tempi di pompaggio;
- curva abbassamenti - tempi di pompaggio;
- curva abbassamenti residuali - tempi di risalita;
- curva portata - abbassamenti (curve caratteristiche del pozzo);
- determinazione della portata specifica e portata specifica relativa;
- calcolo delle perdite di carico;
- determinazione della produttività del pozzo;
- prelievo campioni d'acqua, misura della temperatura, misura della conducibilità, misura livello pluviometro.

La suddetta documentazione deve essere integrata dai seguenti dati:

- coordinate ed identificazione del pozzo;

- planimetria con ubicazione del pozzo e dei piezometri di controllo;
- disegno schematico del pozzo, dei piezometri e di tutte le apparecchiature, con l'indicazione delle principali dimensioni e quote assolute (diametro interno dei tubi; quote del piano di campagna, del fondo del foro, dei tratti forati, ecc.);
- stratigrafia dei terreni interessati dal pozzo e dai piezometri;
- quote assolute e relative del pelo libero della falda, nel pozzo e nei piezometri, rilevata prima dell'inizio della prova ed ai vari tempi di esecuzione delle letture;
- notizie sulle condizioni atmosferiche e meteorologiche durante la prova e prima del suo svolgimento;
- notizie utili ai fini dell'indagine, compreso le quote del livello di eventuali specchi d'acqua, durante lo svolgimento delle prove.

### Prova di permeabilità tipo Lefranc

#### Generalità

Prova di permeabilità da eseguirsi in fase di avanzamento della perforazione in terreni non rocciosi sotto falda o fuori falda, in quest'ultimo caso dopo aver saturato con acqua il terreno.

La prova misura la conducibilità idrica del terreno e si esegue misurando gli assorbimenti di acqua nel terreno facendo filtrare l'acqua attraverso un tratto di foro predeterminato.

Nel caso di terreni a conducibilità non elevata si esegue a carico idraulico variabile; a carico idraulico costante nel caso di elevata conducibilità.

Normative e raccomandazioni di riferimento:

- Associazione Geotecnica Italiana (1977) - "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche".

#### A. Attrezzatura

Per l'esecuzione delle suddette prove devono essere impiegate le seguenti attrezzature:

- una pompa di adeguata portata e prevalenza con tubazione di aspirazione provvista di dispositivo pescante dotato di filtro per trattenere materiali vegetali o comunque intasanti;
- un contalitri con precisione e/o fondo scala da stabilire prima dell'inizio della prova;
- un tubo o serbatoio di immissione provvisto di una scala millimetrata, lunga almeno 1 m;
- un freatimetro millimetrato;
- un cronometro;
- una vasca di raccolta e decantazione dell'acqua;
- un tubo di lavaggio.

Qualora vengano eseguite prove in piezometri gli stessi, prima dell'esecuzione, devono essere debitamente controllati e spurgati fino alla loro completa funzionalità.

#### B. Operazioni preliminari

Le operazioni preliminari alla prova consistono in:

- perforazione con carotiere fino alla quota di prova;

- rivestimento del foro fino alla quota raggiunta dalla perforazione, senza uso di fluido di circolazione almeno negli ultimi 100 cm di infissione;
- inserimento nella colonna di rivestimento di ghiaia molto lavata fino a creare uno spessore di 60 cm dal fondo foro;
- sollevamento della batteria di rivestimento di 50 cm, con solo tiro nella sonda o comunque senza fluido di circolazione;
- misura ripetuta più volte del livello d'acqua nel foro;
- nel caso di terreno fuori falda, immissione continua di acqua pulita nel foro per almeno 30 minuti primi.

### C. Modalità esecutive

L'esecuzione della prova avviene secondo le seguenti modalità:

#### C1. Carico idraulico variabile (in terreni a bassa permeabilità)

La prova per immissione segue la procedura:

- misura del livello di falda prima dell'inizio della prova;
- riempimento con acqua fino alla estremità superiore del rivestimento;
- misura del livello dell'acqua all'interno del tubo (senza ulteriori immissioni) a distanza di 15", 30", 1', 2', 8', 15' dall'inizio dell'abbassamento fino all'esaurimento del medesimo o al raggiungimento del livello di falda.

La prova per pompaggio si esegue all'interno di un foro rivestito quando è possibile abbassare il livello dell'acqua nel rivestimento mediante una pompa.

L'acqua viene estratta dal foro fino alla quota della scarpa del rivestimento e le letture del livello dell'acqua devono essere effettuate a diversi intervalli di tempo man mano che il livello risale nel foro. Le letture verranno proseguite fino a che la differenza tra il livello dell'acqua nel foro e quello corrispondente alla falda sia inferiore a 1/5 della differenza ad inizio prova.

Il coefficiente di permeabilità  $K$  (m/s) può essere determinato utilizzando la seguente formula:

$$K = \frac{A}{F \cdot T}$$

dove:

$A$  = area della sezione trasversale del foro al livello dell'acqua, cioè la sezione del rivestimento ( $m^2$ )

$F$  = fattore di forma che dipende dalla geometria della prova (m)

$T$  = tempo di riequilibrio (basic time-lag) (s)

Il calcolo del fattore di forma  $F$  viene eseguito con la soluzione analitica indicata da Hvorslev (1951), scelta in base alla geometria della prova.

Per la determinazione di  $T$  si devono diagrammare i valori del rapporto  $h/h_0$ , in scala logaritmica, con i corrispondenti valori di tempo  $t$  in scala decimale ( $t = 0$  all'inizio della prova quando  $h/h_0 = 1$ , essendo  $h$  l'altezza misurata e  $h_0$  l'altezza iniziale). Si traccia poi la retta che meglio collega i punti sperimentali diagrammati. In qualche caso, i punti sperimentali per valori di  $h/h_0$  vicini ad 1 possono seguire una curva; ciò deve essere trascurato e la linea retta va tracciata attraverso i restanti punti. Si disegna quindi una retta parallela a quella precedente, ma che passa per l'origine degli assi ( $h/h_0 = 1$ ;  $t = 0$ ). Il valore del tempo  $t$  letto in corrispondenza del rapporto  $h/h_0 = 0,37$  è il valore richiesto del tempo di riequilibrio  $T$ .

#### C2. Carico idraulico costante (in terreni ad alta permeabilità)

La prova seguirà la procedura:

- immissione (o emungimento) di acqua pulita nella batteria di rivestimento fino alla determinazione di un carico idraulico costante, cui corrisponde una portata costante nel tempo;
- controllo della portata immessa (o emunta) a regime idraulico costante determinata con un contaltri di sensibilità pari a 0,1 litri. La taratura del contaltri deve essere verificata in sito riempiendo un recipiente di volume noto e di capacità superiore a 100 litri;
- mantenimento delle condizioni di immissione (o emungimento) a regime costante senza variazione alcuna per almeno 10 min; la costanza dell'altezza e la misura della portata vengono controllate ogni 2' (per durata complessiva della prova pari a 10 minuti) oppure ogni 5' (per durata complessiva della prova pari a 30 minuti).

Il coefficiente di permeabilità  $K$  (m/s) viene determinato utilizzando la seguente formula:

$$K = \frac{Q}{F \cdot h}$$

dove:

$Q$  = portata immessa o emunta ( $m^3/s$ )

$F$  = fattore di forma che dipende dalla geometria della prova (m)

$h$  = differenza di altezza del livello dell'acqua provocato dall'immissione o dall'emungimento (m)

#### D. Documentazione

La documentazione di ciascuna prova comprenderà:

- a) INDICAZIONI SULL'ELABORATO STRATIGRAFICO del sondaggio all'interno del quale è stata eseguita la prova, della posizione della cella filtrante:
  - schema geometrico della prova;
  - livello di falda;
  - tempo di saturazione (se eseguita);
  - portata a regime;
  - letture degli abbassamenti in relazione ai tempi progressivi;
  - calcolo della permeabilità, specificando l'algoritmo ed i parametri adottati.

#### **Prova di assorbimento d'acqua tipo Lugeon**

##### Generalità

La prova misura l'attitudine di un ammasso roccioso ad essere interessato da circolazione idrica; si esegue iniettando dell'acqua in pressione entro un tratto isolato di foro di sondaggio, perforato in terreni litoidi, misurando i volumi assorbiti a diverse pressioni.

Normative e raccomandazioni di riferimento:

- Associazione Geotecnica Italiana (1977) - "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche".

### A. Attrezzatura

L'esecuzione della prova richiede l'attrezzatura elencata di seguito:

- otturatore singolo, per prove in avanzamento, ad espansione idraulica o meccanica;
- otturatore doppio, per prove in risalita, a membrana espandibile idraulicamente. Il tubo di collegamento dei due pistoncini espandibili avrà una superficie forata  $A_f \geq 2 A_t$ , essendo  $A_t$  la superficie della sezione cava del tubo;
- pompa centrifuga in grado di raggiungere pressioni di iniezione di 1 MPa;
- contaltri per la misura delle portate immesse, inserito nel circuito di mandata, con sensibilità di 0,1 litri;
- manometro per la misura della pressione di iniezione, con sensibilità di 0,5 atm e certificato di taratura non anteriore a 3 mesi;
- tubi di adduzione di tipo idraulico;
- eventuale circuito indipendente di misura delle pressioni collegato alla camera isolata per la prova, con manometro tarato.

### B. Tarature

Il contaltri dovrà essere tarato in sito, prima di iniziare le prove, riempiendo un contenitore di volume noto e superiore a 100 litri.

Le perdite di carico nei tubi di adduzione, in assenza di un circuito indipendente di misura delle pressioni, saranno valutate in sito con il metodo di un tubo campione posto orizzontalmente in superficie e collegato alla pompa con l'interposizione del manometro.

Si calcolerà la perdita di carico corrispondente alla portata Q come  $P_c = P/l$  dove:

$P_c$  = perdita di carico per metro lineare (MPa/m)

$P$  = pressione al manometro (MPa)

$l$  = lunghezza del tubo (m)

La prova sarà ripetuta per almeno 3 diversi valori della portata Q.

### C. Modalità esecutive

#### C1. Prova in avanzamento con otturatore singolo

L'otturatore sarà calato nel foro dopo avere misurato il livello del fluido nel sondaggio con sonda piezometrica. Il foro sarà privo di rivestimento; il fluido di perforazione sarà costituito da sola acqua priva di additivi.

L'otturatore sarà espanso fino ad isolare il tratto finale del foro per una lunghezza massima di 5 metri.

Si procederà ad iniettare nel tratto di prova, eseguendo 3 (o più) diversi gradini di pressione in salita e ripetendo gli stessi primi 2 gradini in discesa, misurando per ciascun gradino le portate assorbite che determinano la stabilizzazione dell'assorbimento raggiunto.

Ciascun gradino di portata (a regime) sarà mantenuto per almeno 20 minuti in salita e discesa.

La costanza della portata deve essere controllata ogni 2 minuti e le variazioni non devono essere superiori a 0,1 l/s.

La scelta del valore dei gradini di pressione dipenderà dal tipo di ammasso roccioso e dagli specifici obiettivi progettuali delle prove.

La tab. 1 propone alcuni riferimenti che dovranno essere di volta in volta verificati in funzione delle condizioni di prova (stato di fratturazione dell'ammasso, tensione litostatica, etc...).

Tabella 1

Condizioni di prova	Gradini di pressione (MPa)
Rocce semilitoidi, litoidi o litiche a scarsa resistenza, a profondità < 5 m dal p.c.	0,05 - 0,15 - 0,25 - 0,15 - 0,05
Rocce a scarsa resistenza	0,1 - 0,2 - 0,3 - 0,2 - 0,1
Rocce a media resistenza	0,1 - 0,3 - 0,5 - 0,3 - 0,1
Rocce ad alta resistenza	0,2 - 0,4 - 0,8 - 0,4 - 0,2

Durante la prova si provvederà a mantenere il foro di sondaggio pieno di acqua, per osservare la perfetta tenuta idraulica dell'otturatore, resa evidente dalla assenza di variazioni di livello.

Nel caso di perdite la prova sarà interrotta e ripresa dopo i necessari interventi correttivi.

Qualora lo stato della roccia fosse tale da non assicurare la tenuta dell'otturatore, le prove saranno eseguite in avanzamento previa cementazione e riperforazione del tratto di foro al disopra della prova, in modo da creare una superficie adatta ad impedire perdite idriche.

Particolare cura deve avere la collocazione del manometro. Esso infatti deve essere installato direttamente sui tubi che sostengono il pistoncino, in modo da evitare le immancabili perdite di carico.

L'Affidatario è tenuto a registrare su appositi moduli i seguenti dati:

- numero e diametro del foro dove si esegue la prova;
- profondità del fondo foro dal p.c.;
- profondità del pistoncino dal p.c.;
- diametro dei tubi di immissione d'acqua;
- profondità del livello della falda dal p.c.;
- altezza del manometro dal p.c.;
- eventuale cementazione eseguita.

Durante l'esecuzione della prova si devono registrare per ogni gradino di pressione:

- il tempo e gli assorbimenti per arrivare a regime;
- il tempo e gli assorbimenti con portata a regime con letture prese ogni 2 minuti.

### C2. Prova in risalita con otturatore doppio

Se richiesto da RFI, le prove potranno essere eseguite con otturatore doppio in risalita, con modalità identiche a quanto descritto al precedente paragrafo.

Particolare cura dovrà essere posta nel garantire la tenuta del pistoncino ad espansione inferiore, il cui comportamento non può essere osservato durante la prova.

Per l'esecuzione di prove fino a 90 m di profondità dalla quota di boccaforo devono essere utilizzate le seguenti attrezzature:

- doppio packer completo di linee idrauliche di alimentazione dei packers stessi e delle sezioni di prova;
- pompe idrauliche con pressione massima pari a 7 MPa;
- misuratori di flusso;



- manometri e trasduttori di pressione;
- registratore analogico.

Nel foro di diametro  $\varnothing$  compreso tra 60 mm e 120 mm deve essere calato un doppio packer, collegato alla superficie mediante linee idrauliche, che consente di isolare il tratto di foro interessato.

Si deve procedere quindi alle misure della pressione di iniezione (di regola con un manometro posto in testa alla tubazione di immissione), della portata immessa con contatori a mulinello e del tempo di durata della prova dopo il raggiungimento delle condizioni di regime.

Si deve effettuare prove con almeno 5 diversi valori di pressione di iniezione e ciascun valore della pressione è mantenuto costante per almeno 10 minuti dopo il raggiungimento della stabilizzazione degli assorbimenti (regime di equilibrio).

#### D. Documentazione

La documentazione relativa a ciascuna prova comprenderà:

- informazioni generali con individuazione del sondaggio all'interno del quale è stata eseguita la prova;
- schema della geometria del foro, delle modalità di prova e posizione della cella filtrante;
- livello statico della falda;
- tabulato delle letture di cantiere (tempi, portate, pressioni al manometro);
- grafico pressione effettiva in camera di prova;
- assorbimento per ciascun gradino espresso in Unità Lugeon UL (dove 1 UL = portata di 1 litro/min/m a 1 MPa);
- calcolo della permeabilità, specificando l'algoritmo ed i parametri adottati.

#### **Misura di velocità di flusso idrico con micromulinello**

##### Generalità

Le prove di micromulinello si eseguono in foro di sondaggio, attrezzato con tubo di rivestimento finestrato, utilizzando uno strumento che misura la velocità di circolazione verticale dell'acqua di falda.

##### A. Attrezzatura

Le attrezzature da impiegarsi sono le seguenti:

- Micromulinello costituito da una elica rigida, associata ad un contatore di impulsi a cellula fotoelettrica. L'elica è protetta da una gabbietta ovoidale del diametro esterno di 42 mm oppure 70 mm;
- Registratore di impulsi collegato a contasecondi in grado di visualizzare direttamente il numero di giri dell'elica in un intervallo di tempo predeterminato e compreso tra 20 sec e 200 sec;
- Tubazioni finestate costituite da tubi di rivestimento del foro del diametro  $\varnothing = 52/60$  mm oppure 80/90 mm; i vuoti devono costituire almeno il 10% della superficie fessurata, con aperture di 0,4÷1,0 mm;
- Tubazioni non finestate costituite da tubi ciechi di diametro pari a quelli finestrati, giuntabili ai medesimi;

- Accessori: cavi elettrici di collegamento del sensore al registratore e bobina avvolgicavo con lettore della profondità del sensore.

#### B. Modalità di perforazione

La perforazione sarà eseguita con diametro maggiore o uguale a 100 mm, con fluidi costituiti da sola acqua pulita, evitando rifluimenti in colonna e decompressioni del terreno circostante.

Il foro sarà rivestito con tubazioni metalliche provvisorie.

#### C. Attrezzatura del foro

Per l'esecuzione delle misure deve essere realizzata una colonna filtrante costituita da:

- tubazione in PVC cieca nelle estremità superiore ed inferiore e forata nel tratto intermedio; il tratto forato deve essere ricoperto, per tutta la lunghezza, da rete di nylon a maglia di 0,5 mm fissata solidamente alla tubazione stessa;
- filtro di sabbia nell'intercapedine tra la tubazione forata e la parete del foro;
- idonei tappi impermeabili di isolamento;

La colonna filtrante deve essere realizzata secondo lo schema di massima concordato con RFI con indicate l'altezza e la quota del tratto forato e di quelli ciechi; comunque la parte inferiore cieca deve avere una lunghezza di 1,00 m e diametro di 42÷70 mm.

Il tubo di plastica deve avere diametro interno compreso tra 50 mm e 85 mm e spessore di circa 5 mm. I giunti devono essere filettati o del tipo a bicchiere bloccati con mastice e rivetti.

Il diametro del foro deve essere tale da consentire l'inserimento del tubo in plastica in modo da poter realizzare nell'intercapedine un discreto filtro di sabbia i cui grani devono avere diametro compreso tra 1 e 4 mm.

Il diametro del tubo in plastica deve essere di dimensioni adeguate all'ingombro del micromulinello.

Il tubo in plastica deve essere forato in modo da realizzare un rapporto vuoto/pieno pari al 10% della superficie.

L'estremità superiore della colonna filtrante deve fuoriuscire dal piano campagna di almeno 50 cm.

Al termine delle misure il terminale del foro deve essere inserito in un pozzetto metallico di protezione, cementato nel terreno per 20÷30 cm.

#### D. Taratura e controlli

Prima di procedere alla prova, si determineranno i seguenti parametri del sensore:

$V_0$  = velocità iniziale di spunto

R = coefficiente di riduzione

in cui

$V_0$  : dipende dagli attriti di origine meccanica che si sviluppano nel perno dell'elica;

R : tiene invece conto della perturbazione della velocità naturale che si verifica per la presenza dell'elica.

Prima di calare il sensore nel foro si controllerà che l'elica ruoti liberamente e che il contatore di impulsi funzioni regolarmente.

### E. Modalità esecutive

Le misure in sito con il micromulinello devono essere eseguite, di norma, ogni 50 cm per tutta l'altezza del tubo forato; tuttavia in particolari posizioni possono essere richieste anche letture ad intervalli inferiori.

Per ciascuna posizione di misura deve essere rilevato il numero di giri al secondo dell'elica, mediato su un intervallo di 10-60 secondi, nonché il senso della corrente, ascendente o discendente.

Le misure devono essere eseguite nelle due seguenti condizioni:

- a) in condizioni idrauliche naturali, per rilevare eventuali correnti naturali del terreno;
- b) durante l'immissione o l'estrazione d'acqua con cui si realizza un flusso d'acqua "transitorio" attraverso il terreno.

Prima di iniziare le misure deve essere accuratamente misurato il livello statico e dinamico stabilizzato della falda.

In presenza di falda artesianica, per effettuare le misure in condizioni naturali, il tubo di prova deve essere prolungato al di sopra del p.c. fino ad ottenere un livello statico, mentre per effettuare le misure di tipo b) si deve ripristinare la situazione di artesianesimo e misurare la portata d'acqua che fuoriesce.

La prova con micromulinello si intende conclusa quando sono state eseguite le misure, in discesa ovvero in risalita, in condizioni di falda naturale ovvero di falda dinamica, per tutta l'altezza della colonna filtrante, nelle posizioni approvate da RFI.

### F. Documentazione

La restituzione preliminare di una prova deve comprendere il grafico delle velocità misurate alle varie profondità nelle due condizioni di prova e le relative tabelle dei dati misurati oltre ai rilievi dei livelli di falda, delle portate immesse od emunte ed il grafico della taratura iniziale dello strumento.

La documentazione finale comprenderà:

- a) **RELAZIONE CONCLUSIVA INTERPRETATIVA** dei risultati ottenuti contenente tra l'altro:
  - schema geometrico del sondaggio attrezzato;
  - livello della falda;
  - quota assoluta del piano campagna;
  - caratteristiche dell'attrezzatura;
  - risultati della taratura;
  - tabulati delle letture di ciascuna serie di prove;
  - grafico V su profondità in condizioni naturali, per ciascuna serie di letture, essendo

$$V = \frac{nd}{R} + V_0$$

dove:

n = numero di giri dell'elica per unità di tempo.

d = passo dell'elica

R = velocità di spunto iniziale

V<sub>0</sub> = coefficiente di riduzione;

- grafico V' su profondità in condizioni di flusso forzato per immissione, per ciascuna serie di letture;
- grafico V' - V su profondità, utilizzando per ciascuna singola profondità i valori medi misurati.

## Misura del contenuto in gas nocivi o esplosivi

### Generalità

Le rilevazioni consistono nella:

- misura della percentuale di volume di gas metano;
- misura del limite di esplosività del metano in miscela con aria;
- misura della percentuale di volume di gas nocivi.

### A. Attrezzature e modalità esecutive

I rilevamenti vanno effettuati su fori di sondaggio eseguiti a secco ed incamiciati per l'ultimo tratto (circa tre metri). Una volta completato il sondaggio, il boccaforo verrà intasato con geotessile che verrà rimosso e reinserito ogniqualvolta siano eseguite le misure. La prima lettura verrà effettuata non prima di due giorni dal termine del sondaggio.

Per la misura della percentuale di volume di gas sarà utilizzato un "interferometro" portatile.

Per la misura dell'esplosività si userà un "esplosimetro" portatile.

Per la misura della percentuale di volume dei gas nocivi sarà utilizzata una pompa aspirante automatica del tipo "quantimeter" o similari in combinazione con le fialette rivelatrici del tipo "drager".

#### A.1. Interferometro.

La misurazione avviene osservando la frangia d'interferenza attraverso la lente oculare di cui lo strumento è dotato. Quando il gas da analizzare è introdotto nell'indicatore, le frange si spostano a destra o sinistra ed il segnale aumenta a seconda della concentrazione del gas.

Nel caso in cui la camera gas non fosse sigillata, questa deve essere pulita dopo ogni misurazione con aria attraverso un aspiratore.

Una volta pulita la camera bisognerà azzerare le frange d'interferenza mettendole a fuoco attraverso la lente oculare.

La misura va effettuata pompando aria dentro la camera gas premendo il soffiato per almeno 5 volte. Di seguito va esaminata la linea nera di riferimento rispetto alle frange di interferenza. Leggendo lo spostamento nella scala graduata si avrà la percentuale di volume di gas nell'aria che si sta esaminando.

#### A.2. Esplosimetro.

Prima di ogni operazione è necessario accertarsi che l'esplosimetro non sia danneggiato e verificare in particolare modo che il vetro dello strumento indicatore non sia incrinato o rotto e che la lancetta di quest'ultimo coincida con il punto zero della scala.

E' necessario controllare tutti gli accessori in particolare modo il cilindro filtrante con indicatore di flusso, il tubo di campionamento, che andrà spurgato e pulito perfettamente, e gli attacchi.

La regolazione dello zero andrà effettuata aspirando aria pura per circa due minuti e ruotando la manopola di regolazione solo quando la lancetta si è stabilizzata.

Si dovrà, quindi, portare l'esplosimetro a boccaforo del sondaggio ed effettuare le aspirazioni necessarie (indicate nei dettagli illustrativi degli strumenti).

Il valore della concentrazione di gas esplosivi dovrà essere letto direttamente sullo strumento indicatore.

### A.3 Quantimeter

Prima di iniziare la serie di misurazioni è necessario verificare la tenuta dello strumento.

Una volta preselezionato il numero di aspirazioni, si dovranno inserire le fialette rilevatrici (caratteristiche per ogni gas) nello strumento. Una volta iniziato il campionamento, questo termina non appena sono terminate le aspirazioni selezionate.

La minore o maggiore concentrazione di gas nocivi viene segnalata dalla diversa impregnazione del materiale contenuto nelle fialette.

Poiché non esiste una normativa specifica sulle concentrazioni ammissibili di gas nocivi nell'aria, come invece per i gas esplosivi, ci si riferisce a quanto suggerito dalle normative statunitensi (T.L.V. - 1991):

- CO<sub>2</sub> : 5000 p.p.m.
- H<sub>2</sub>S : 10 p.p.m.
- CO : 50 p.p.m.
- NO<sub>2</sub>: 3 p.p.m.
- SO<sub>2</sub> : 2 p.p.m.

### B. Documentazione

Al termine delle campagne di prove deve essere consegnata la seguente documentazione:

- a) RELAZIONE CONCLUSIVA INTERPRETATIVA dei risultati ottenuti contenente tra l'altro:
  - ubicazione dei sondaggi;
  - modalità della prova;
  - data e ora delle letture;
  - risultati dei rilievi eseguiti riportati in tabelle comparative con riferimenti alle normative vigenti.

### 3.6. PROVE DI LABORATORIO

#### 3.6.1. Identificazione e determinazione delle caratteristiche fisico-chimiche delle terre

##### **Apertura campione indisturbato di terra.**

Tutte le informazioni inerenti il campione devono essere annotate su appositi moduli in modo che sia sempre identificabile il sondaggio, la profondità di prelievo, la data.

All'atto dell'apertura dovrà essere eseguito l'esame qualitativo preliminare del campione, la sua descrizione litologica e la determinazione della consistenza con penetrometro e scissometro tascabili.

Una volta estruso il campione dalla fustella con la tecnica più adatta in modo da minimizzare il disturbo, si deve creare una zona piana mediante apposito utensile (coltello o filo d'acciaio) per le prove con penetrometro e vane test tascabili.

Dovranno essere descritte eventuali anomalie presenti (rammollimenti, essiccamenti, inclusi organici, fossili, fanghi di perforazione, rimescolamenti).

Le parti omogenee vanno descritte ed evidenziate con schizzi o foto con riferimento alle "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche", (AGI, 1977).

Dall'esame dovranno risultare quindi le dimensioni dei granuli, il grado di arrotondamento, l'assortimento, la forma, il colore (attraverso l'ausilio delle Tavole Munsell), l'odore, la reazione all'acido cloridrico, livelli, lenti, laminazioni, vene di ossidazione.

Altre norme di riferimento:

ASTM D2487-00. Standard Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System).

ASTM D2488-00. Standard Practice for Description and Identification of Soils (Visual-Manual Procedure).

BS 1377-1990. Methods of test for soils for civil engineering purposes.

##### **Determinazione del contenuto naturale in acqua.**

CNR-UNI 10008. Contenuto naturale in acqua

ASTM D2216-98. Standard Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass.

BS 1377-1990. Methods of test for soils for civil engineering purposes.

##### **Determinazione della massa volumica apparente.**

CNR-BU N.63. Determinazione della massa volumica apparente dei granuli di un aggregato.

BS 1377-1990. Methods of test for soils for civil engineering purposes.

CNR-BU N.62. Determinazione della massa volumica apparente di aggregati non addensati.

##### **Determinazione del peso specifico dei granuli.**

CNR-UNI 10013/1964. Peso specifico dei granuli.

ASTM D854-00e1. Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer.

BS 1377-1990. Methods of test for soils for civil engineering purposes.

**Determinazione dei limiti di Atterberg.**

CNR-UNI n.10014. Determinazione dei limiti di consistenza (o di Atterberg) di una terra.

ASTM D4318-00. Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils

BS 1377-1990. Methods of test for soils for civil engineering purposes.

**Determinazione del limite di ritiro.**

CNR-UNI n.10014. Determinazione dei limiti di consistenza (o di Atterberg) di una terra.

ASTM D427-98. Test Method for Shrinkage Factors of Soils by the Mercury Method.

ASTM D4943-95. Standard Test Method for Shrinkage Factors of Soils by the Wax Method.

**Analisi granulometrica meccanica eseguita mediante setacci.**

AGI, 1994. Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio

CNR-BU n.23-1971. Analisi granulometrica di una terra mediante crivelli e setacci.

UNI EN 933-1 (1999). Analisi granulometrica per stacciatura.

ASTM D422-63 (1998). Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils.

ASTM D421-85 (1998). Standard Practice for Dry Preparation of Soil Samples for Particle-Size Analysis and Determination of Soil Constants.

ASTM D2217-85 (1998). Standard Practice for Wet Preparation of Soil Samples for Particle-Size Analysis and Determination of Soils Constants.

BS 1377-1990. Methods of test for soils for civil engineering purposes.

**Analisi granulometrica per sedimentazione.**

AGI, 1994. Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio

ASTM D422-63 (1998). Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils.

BS 1377-1990. Methods of test for soils for civil engineering purposes.

**Prova di permeabilità mediante permeametro a carico costante o variabile.**

ASTM 2434-68 (2000). Standard Test Method for Permeability of Granular Soils (Constant Head).

ASTM 5084-00e1. Standard Test Methods for Measurement of Hydraulic Conductivity of Saturated Porous Materials Using a Flexible Wall Permeameter

**Determinazione ponderale di solfati e cloruri.**

BS 1377-1990. Methods of test for soils for civil engineering purposes.

UNI EN 1744-1 (1999). Analisi chimica.

**Determinazione del contenuto in carbonati mediante calcimetria.**

ASTM D4373-96. Standard Test Method for Calcium Carbonate Content of Soils.



RETE FERROVIARIA ITALIANA

MANUALE DI PROGETTAZIONE  
GEOLOGIA

MANUALE DI PROGETTAZIONE

Codifica: RFI DINIC MA GE 00 001 B

FOGLIO  
152 di 162

**Determinazione del contenuto in sostanze organiche.**

BS 1377-1990. Methods of test for soils for civil engineering purposes.

UNI EN 1744-1 (1999). Analisi chimica.

ASTM D2974-00. Standard Test Methods for Moisture, Ash, and organic Matter of Peat and Other Organic Soils.

**Determinazione del pH con il metodo colorimetrico o con pHmetro**

BS 1377-1990. Methods of test for soils for civil engineering purposes.



*3.6.2. Determinazione delle caratteristiche fisiche, chimiche e petrografiche di rocce ed aggregati*

**Determinazione della massa volumica mediante pesata.**

CNR-BU n.62-1978. Determinazione della massa volumica apparente di aggregati non addensati.

CNR-BU n.63-1978. Determinazione della massa volumica apparente dei granuli di un aggregato.

UNI EN 1097-6 (2002). Determinazione della massa volumica dei granuli e dell'assorbimento d'acqua.

ASTM C97-96e1. Standard Test Methods for Absorption and Bulk Specific Gravity of Dimension Stone.

BS 812-1995. Testing aggregates. Methods for determination of density

**Determinazione della massa volumica apparente di aggregati (massa in mucchio).**

UNI EN 1097-3 (1999). Determinazione della massa volumica in mucchio e dei vuoti intergranulari.

CNR-BU n.62-1978. Determinazione della massa volumica apparente di aggregati non addensati.

CNR-BU n.76-1980. Determinazione della massa volumica di aggregati assestati con Tavola a scosse.

**Determinazione della massa volumica reale.**

CNR-BU n.64-1978. Determinazione della massa volumica reale dei granuli di un aggregato.

RD N.2232 del 16/11/1939. Norme sulle pietre naturali da costruzione.

**Analisi granulometrica per vagliatura mediante setacci o crivelli.**

CNR-BU N.23. Analisi granulometrica mediante setacci e crivelli.

ASTM D422-63 (1998). Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils.

ASTM D421-85 (1998). Standard Practice for Dry Preparation of Soil Samples for Particle-Size Analysis and Determination of Soil Constants.

BS 812-1985. Testing aggregates. Method for determination of particle size distribution. Sieve tests.

UNI EN 933-1 (1999). Analisi granulometrica per staccatura.

**Determinazione del coefficiente di forma.**

CNR-BU n.95-1984. Forma di aggregati lapidei.

**Determinazione macroscopica dei caratteri litologici di una roccia.**

CNR-BU n.1041984. Identificazione delle rocce più comuni impiegate come aggregati stradali.

ASTM C119-01. Standard Terminology Relating to Dimension Stone.

UNI EN 932-3 (1998). Procedura e terminologia per la descrizione petrografica semplificata

**Analisi petrografica mediante determinazione microscopica su sezione sottile.**

Scopo dell'analisi è il riconoscimento dei minerali costituenti la roccia di provenienza e quindi la definizione precisa del litotipo. E' inoltre possibile ottenere utili informazioni sull'evoluzione strutturale del litotipo stesso attraverso l'esame dei rapporti reciproci tra i diversi minerali costituenti.

#### A. Preparazione

La sezione sottile di roccia andrà preparata per smerigliature successive a partire da una fetta di roccia tagliata con sega circolare (con getto d'acqua) dal campione relativo, fino ad ottenere una sezione sottile di spessore compreso tra 20 e 35 micron e superficie 2-6 cmq fissata a due vetrini (portaoggetti di spessore 1 mm e coprioggetti di spessore 0,1 mm) mediante balsamo del Canada (indice di rifrazione  $n=1,542$ ).

#### B. Esame

In generale la descrizione del campione deve comprendere gli aspetti mineralogici, tessiturali e micro-strutturali della roccia seguendo come base la metodologia ISRM (Suggested method for petrographic description of rocks), tramite esame eseguito al microscopio polarizzatore; in particolare dovranno essere descritte tutte le strutture individuabili a scala microscopica (forma e contorno dei minerali, microfratture, sfaldature, micropieghe, inclusioni, ecc., costituenti il cosiddetto "fabric" della roccia di provenienza), i rapporti di accrescimento reciproco tra i singoli minerali e ogni altra informazione che possa contribuire alla ricostruzione degli eventi subiti dal litotipo costituente l'ammasso roccioso di provenienza. Dei singoli minerali componenti dovranno essere indicati percentuali e caratteristiche ottiche così come individuate dall'analisi microscopica (indici di rifrazione, birifrangenza, tipo e angolo di estinzione, segno ottico, angolo 2V), in modo da definire nel dettaglio i componenti mineralogici e la classifica del litotipo secondo la nomenclatura vigente.

#### C. Documentazione

- a. RELAZIONE DI COMMENTO contenente i minerali individuati, le loro caratteristiche e il litotipo di appartenenza, eventualmente corredata da fotografie a colori eseguite al microscopio polarizzatore su punti significativi della sezione sottile.

#### **Analisi diffrattometrica.**

Scopo dell'analisi è il riconoscimento di quei minerali non facilmente individuabili attraverso l'esame in sezione sottile al microscopio polarizzatore. L'analisi verrà eseguita per i minerali fillosilicatici su polveri a granulometria inferiore ai 2 micron.

#### A. Preparazione

Dopo aver finemente macinato in un mortaio il materiale, una frazione di questo andrà disperso in una soluzione di acqua distillata con alcune gocce di ammoniaca; dopo agitazione per circa 3 ore e sedimentazione successiva per circa 12 ore, si preleverà la porzione superficiale che verrà centrifugata e lasciata asciugare prima di essere deposta su un vetrino per l'analisi ai raggi x.

#### B. Esame

Le polveri ottenute secondo la procedura sopra descritta verranno frazionate ed analizzate con tre trattamenti differenti: frazione ottenuta per sola sedimentazione, frazione sedimentata e trattata con glicol etilico, frazione sedimentata e riscaldata a 650 °C per 2 ore.

L'analisi consiste nel colpire le polveri da esaminare con un fascio di raggi x monocromatici determinando la dispersione angolare e l'intensità di diffrazione prodotte dalle polveri stesse. Sul diffrattogramma così ottenuto si leggerà la posizione delle righe di dispersione rispetto al raggio diretto, che è caratteristica di ogni minerale.

### C. Documentazione

- a. DIFFRATTOGRAMMI ORIGINALI;
- b. RELAZIONE DI COMMENTO alla preparazione delle polveri, ai risultati ottenuti ed alla individuazione dei minerali presenti.

#### **Determinazione del coefficiente di imbibizione.**

RD N.2232 del 16/11/1939. Norme sulle pietre naturali da costruzione.

CNR-BU n. 137-1992. Determinazione del coefficiente di imbibizione.

UNI EN 1097-6 (2002). Determinazione della massa volumica dei granuli e dell'assorbimento d'acqua.

ASTM C97-83. Assorbimento e massa volumica apparente di pietre naturali da costruzione.

#### **Determinazione dell'equivalente in sabbia**

CNR-BU n.27-1972. Metodo di prova per la misura dell'equivalente in sabbia.

UNI EN 933-8 (2000). Prova dell'equivalente in sabbia.

ASTM D2419-95. Standard Test Method for Sand Equivalent Value of Soils and Fine Aggregate.

#### **Determinazione del contenuto di impurezze organiche.**

BS 1377-1990. Methods of test for soils for civil engineering purposes.

UNI EN 1744-1 (1999). Analisi chimica.

ASTM D2974/84. Contenuto in impurezze organiche.

#### **Determinazione del contenuto di solfati solubili di un aggregato.**

BS 812-1988. Testing aggregates. Methods for determination of sulphate content.

UNI EN 1744-1 (1999). Analisi chimica.

#### **Determinazione del contenuto di cloruri solubili di un aggregato.**

UNI EN 1744-1 (1999). Analisi chimica.

BS 812-1988. Testing aggregates. Methods for determination of water-soluble chloride salts.

#### **Determinazione del modulo di finezza.**

UNI EN 933-1 (1999). Analisi granulometrica per stacciatura.

#### **Determinazione della migliore composizione granulometrica di una miscela inerte per conglomerati cementizi o bituminosi.**

UNI 7173. Calcestruzzo preconfezionato.

#### **Determinazione della resistenza alla degradazione mediante solfati.**

UNI EN 1367-2 (2000). Prova al solfato di magnesio.

### 3.6.3. Determinazione delle caratteristiche meccaniche delle terre

#### **Prove di compressione ad espansione laterale libera.**

ASTM D2166-00. Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil.

BS 1377-1990. Methods of test for soils for civil engineering purposes.

#### **Prova di taglio diretto con scatola di Casagrande.**

AGI, 1994. Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio

ASTM D3080-98. Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions.

BS 1377-1990. Methods of test for soils for civil engineering purposes.

#### **Prova di taglio con apparecchio anulare.**

ASTM D6467-99. Standard Test Method for Torsional Ring Shear Test to Determine Drained Residual Shear Strength of Cohesive Soils

#### **Prova di taglio con scissometro da laboratorio (Vane Test).**

ASTM D4648-00. Standard Test Method for Laboratory Miniature Vane Shear Test for Saturated Fine-Grained Clayey Soil.

BS 1377-1990. Methods of test for soils for civil engineering purposes.

#### **Prova di compressione triassiale.**

AGI, 1994. Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio

ASTM D4767-95. Standard Test Method for Consolidated Undrained Triaxial Compression Test for Cohesive Soils.

ASTM D2850-95 (1999). Standard Test Method for Unconsolidated-Undrained Triaxial Compression Test on Cohesive Soils.

BS 1377-1990. Methods of test for soils for civil engineering purposes.

#### **Prova di compressione edometrica**

AGI, 1994. Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio

BS 1377-1990. Methods of test for soils for civil engineering purposes.

ASTM D2435-96. Standard Test Method for one-Dimensional Consolidation Properties of Soils.

#### **Determinazione della pressione di rigonfiamento in cella edometrica secondo il metodo Huder-Amberg.**

ASTM D4546-96. Standard Test Method for One-Dimensional Swell or Settlement Potential of Cohesive Soils.

ISRM (1989) - "Suggested methods for laboratory testing of argillaceous swelling rocks"

**Determinazione del rigonfiamento lineare in cella edometrica.**

ASTM D4546-96. Standard Test Method for One-Dimensional Swell or Settlement Potential of Cohesive Soils.

ISRM (1979) - "Suggested Methods for Determining Water Content, Porosity, Density, Absorption and Related Properties and Swelling and Slake-Durability Index Properties", part 2

**Prova di costipamento di una terra AASHO Standard o modificata.**

CNR-BU n.69-1978. Prova di costipamento di una terra.

BS 1377-1990. Methods of test for soils for civil engineering purposes.

ASTM D1557-00. Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft<sup>3</sup> (2,700 kN-m/m<sup>3</sup>)).

ASTM D698-00a. Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12,400 ft-lbf/ft<sup>3</sup> (600 kN-m/m<sup>3</sup>)).

**Prova CBR.**

CNR-UNI n.10009. Indice di portanza CBR di una terra.

BS 1377-1990. Methods of test for soils for civil engineering purposes.

ASTM D1883-99. Standard Test Method for CBR (California Bearing Ratio) of Laboratory-Compacted Soils.

#### 3.6.4. Determinazione delle caratteristiche meccaniche di rocce ed aggregati

##### **Taglio di provini prismatici.**

ASTM D4543-01. Standard Practices for Preparing Rock Core Specimens and Determining Dimensional and Shape Tolerances.

##### **Carotaggio di provini cilindrici.**

ASTM D4543-01. Standard Practices for Preparing Rock Core Specimens and Determining Dimensional and Shape Tolerances.

##### **Spianatura e rettifica di provini cilindrici o prismatici di roccia.**

ASTM D4543-01. Standard Practices for Preparing Rock Core Specimens and Determining Dimensional and Shape Tolerances.

##### **Prova di compressione monoassiale su provini cilindrici o prismatici.**

ASTM C170-90 (1999). Standard Test Method for Compressive Strength of Dimension Stone.

ASTM D2938-95. Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Intact Rock Core Specimens.

ISRM -"Suggested methods for determining the uniaxial compressive strength and deformability of rock materials", 1979.

##### **Determinazione della resistenza al gelo su provini di roccia.**

RD N.2232 del 16/11/1939. Norme sulle pietre naturali da costruzione.

##### **Prova di compressione monoassiale su provini cilindrici o prismatici con rilievo della curva sforzi-deformazioni e del comportamento post-rottura del provino.**

ASTM D2938-95. Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Intact Rock Core Specimens.

ASTM 3148-96. Standard Test Method for Elastic Moduli of Intact Rock Core Specimens in Uniaxial Compression

ISRM -"Suggested methods for determining the uniaxial compressive strength and deformability of rock materials", 1979.

Rivista Italiana di Geotecnica -"Raccomandazioni per determinare la resistenza a compressione monoassiale e la deformabilità dei materiali rocciosi", n° 3, 1994.

##### **Prova di creep monoassiale.**

ASTM D4341-93 (1998). Standard Test Method for Creep of Cylindrical Hard Rock Core Specimens in Uniaxial Compression.

ASTM D4405-93 (1998). Standard Test Method for Creep of Cylindrical Soft Rock Core Specimens in Uniaxial Compressions.

##### **Prova di resistenza a trazione "Brasiliana".**

UNI 6135 (1972). Prova di trazione.

ISRM (1978) - "Suggested Method for Determining Indirect Tensile Strength by Brazil Test"

ASTM D3967-95a (2001) - "Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Intact Rock Core Specimens"

#### **Prova di compressione triassiale su provini di roccia**

ASTM D5407-95. Standard Test Method for Elastic Moduli of Undrained Intact Rock Core Specimens in Triaxial Compression without Pore Pressure Measurement.

ISRM (1978) - "Suggested Methods for Determining the Strength of Rock Materials in Triaxial Compression"

ISRM (1983) - "Suggested Methods for Determining the Strength of Rock Materials in Triaxial Compression: revised version"

#### **Prova di taglio su giunti di roccia secondo la metodologia ISRM.**

ISRM (1974) - "Suggested Methods for Determining Shear Strength", Document 1

#### **Prova con ultrasuoni per la determinazione delle costanti elastiche dinamiche.**

ASTM D2845-00. Standard Test Method for Laboratory Determination of Pulse Velocities and Ultrasonic Elastic Constants of Rock.

ISRM- "Suggested methods for determining sound velocity", 1978

#### **Prova di carico puntiforme "Point Load Strength Test".**

ASTM D5731-95. Standard Test Method for Determination of the Point Load Strength Index of Rock

ISRM (1985) - "Suggested methods for determining Point Load Strength".

Rivista Italiana di Geotecnica - "Raccomandazioni per la misura della resistenza al punzonamento", n° 1, 1994.

#### **Determinazione dell'angolo di attrito di base di una roccia mediante "Tilt Test".**

Bibliografia tecnica di riferimento:

Barton N.-Choubey V.- "The shear strength of rock joints, theory and practice", Rock Mechanics, vol. 10, 1977

#### **Prova di durezza mediante martello di Schmidt (sclerometro)**

ISRM (1977) - "Suggested methods for determining hardness and abrasiveness of rocks".

ISRM (1993) - "Supporting paper on a suggested improvement to the Schmidt rebound hardness ISRM suggested method with particular reference to rock machineability".

ASTM D5873-00. Standard Test Method for Determination of Rock Hardness by Rebound Hammer Method.

#### **Prova di resistenza all'urto "Page".**

CNR 1959 Fascicolo 5. Norme per l'accettazione dei cubetti di pietra per pavimentazioni stradali.

**Determinazione del coefficiente di abrasione "Los Angeles".**

CNR-BU n.34-1973. Determinazione della perdita in peso per abrasione di aggregati lapidei con l'apparecchio "Los Angeles".

UNI EN 1097-2 (1999). Metodi per la determinazione della resistenza alla frammentazione.

ASTM C131-01. Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine.

ASTM C535-01. Standard Test Method for Resistance to Degradation of Large-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine.

**Determinazione della resistenza al gelo di un aggregato.**

UNI EN 1367-1 (2001). Determinazione della resistenza al gelo e disgelo.

CNR-BU n.80-1980. Determinazione della sensibilità al gelo di aggregati lapidei per sovrastrutture stradali.

**Prova di durabilità "Slake Durability Test".**

ISRM (1979) - "Suggested Methods for Determining Water Content, Porosity, Density, Absorption and Related Properties and Swelling and Slake-Durability Index Properties", part 2.

**Determinazione della resistenza all'usura per attrito radente.**

RD N.2232 del 16/11/1939. Norme sulle pietre naturali da costruzione.

**Determinazione della resistenza all'usura al getto di sabbia.**

RD N.2232 del 16/11/1939. Norme sulle pietre naturali da costruzione.



### 3.6.5. Determinazione delle caratteristiche chimiche, fisiche e biologiche di acque naturali

#### **Prelievo di un campione d'acqua da pozzi, piezometri, corsi d'acqua ecc..**

UNICHIM, manuale n° 157, 1997.

#### **Determinazione della conducibilità e della temperatura.**

UNICHIM, metodo MU n° 930:94

UNI-UNICHIM 10500:96

CNR-IRSA (1976) – Metodi analitici per le acque. Vol. I - II

#### **Determinazione del pH.**

UNI-UNICHIM 10501:96

CNR-IRSA (1976) – Metodi analitici per le acque. Vol. II

#### **Determinazione della durezza.**

UNI-UNICHIM 10505:96

CNR-IRSA (1976) – Metodi analitici per le acque. Vol. I

#### **Determinazione del contenuto in cloruri solubili.**

UNI-UNICHIM 10502:96.

CNR-IRSA (1976) – Metodi analitici per le acque. Vol. I

#### **Determinazione del contenuto in solfati solubili.**

UNICHIM, metodo MU n° 932:95.

CNR-IRSA (1976) – Metodi analitici per le acque. Vol. II

#### **Determinazione del contenuto in solfuri solubili.**

UNICHIM, metodo MU n° 945:95.

CNR-IRSA (1976) – Metodi analitici per le acque. Vol. II

#### **Determinazione del contenuto in carbonati solubili.**

Standard Methods for the examination of water and wastewater, n° 2320, 18<sup>a</sup> edizione, 1992.

CNR-IRSA (1976) – Metodi analitici per le acque. Vol. I

#### **Determinazione del contenuto in bicarbonati solubili.**

UNICHIM, metodo MU n° 1071:95

Standard Methods for the examination of water and wastewater, n° 2320, 18<sup>a</sup> edizione, 1992.

CNR-IRSA (1976) – Metodi analitici per le acque. Vol. I

**Determinazione del contenuto in calcio solubile.**

UNI-UNICHIM 10540:96

CNR-IRSA (1976) – Metodi analitici per le acque. Vol. II

**Determinazione del contenuto in magnesio solubile.**

UNI-UNICHIM 10541:96

CNR-IRSA (1976) – Metodi analitici per le acque. Vol. II

**Determinazione del contenuto in sodio solubile.**

UNI-UNICHIM 10543:96

CNR-IRSA (1976) – Metodi analitici per le acque. Vol. II

**Determinazione del contenuto in potassio solubile.**

UNI-UNICHIM 10542:96

CNR-IRSA (1976) – Metodi analitici per le acque. Vol. II

**Determinazione del contenuto in nitrati solubili.**

UNICHIM, metodo MU n° 940:95

CNR-IRSA (1976) – Metodi analitici per le acque. Vol. I

**Determinazione del contenuto in nitriti solubili.**

UNICHIM, metodo MU n° 939:94.

CNR-IRSA (1976) – Metodi analitici per le acque. Vol. I

**Determinazione del contenuto in CO<sub>2</sub> libera.**

UNI-UNICHIM 10507:96.

**Analisi batteriologica con determinazione di coliformi totali, coliformi fecali, streptococchi e salmonelle.**

UNICHIM, metodo MU n° 959:94

UNICHIM, metodo MU n° 952/1:94

UNI-UNICHIM 10675:98

UNICHIM, metodo MU n° 953/1:01 e n° 953/2:01

UNICHIM, metodo MU n° 953/1:01 e n° 953/2:01

UNICHIM, metodo MU n° 954/1:94

UNI-UNICHIM 10677:98