CAPITOLATO GENERALE TECNICO DI APPALTO DELLE OPERE CIVILI

PARTE II - SEZIONE 3
RILIEVI GEOLOGICI ED INDAGINI GEOGNOSTICHE

3.1 SCOPO E CAMPO DI APPLICAZIONE
3.2 DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO
3.3 DEFINIZIONI
3.4 ABBREVIAZIONI
3.5 RILIEVI GEOLOGICI
3.6 PROSPEZIONI GEOFISICHE
3.7 INDAGINI GEOGNOSTICHE
3.8 PROVE GEOTECNICHE IN SITO
3.9 PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO

Rev.	Data	Descrizione	Redatto	Verifica Tecnica	Autorizzazione
A	30/12/2016	Emissione per Applicazione	L.Mostocotto A.Bianchi S.Gorelli G.Manfroi R.Murtas	L.Mostocotto C.Giangrande	F.Iacobini

INDICE

3.1 SCOPO E CAMPO DI APPLICAZIONE 10
3.1.1 CAMPO DI APPLICAZIONE 10
3.1.2 GENERALITA' 10
3.1.2.1 Programma e modalità operative 10
3.1.2.2 Coordinamento tecnico 11
3.1.2.3 Confezionamento e conservazione dei campioni 11
3.1.2.4 Elaborati da consegnare 11
3.1.2.5 Prestazioni in regime di qualità 11
3.2 DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO 12
3.2.1 NORMATIVE DI RIFERIMENTO 12
3.2.1.1 Normativa Nazionale 12
3.2.1.2 Normativa Europea 12
3.2.1.3 Normativa Internazionale 15
3.2.1.4 Documentazione Tecnica 17
3.3 DEFINIZIONI 19
3.4 ABBREVIAZIONI 19
3.5 RILIEVI GEOLOGICI 20
3.5.1 Premessa 20
3.5.2 Attività propedeutiche 20
3.5.2.1 Ricerca bibliografica 20
3.5.2.2 Analisi fotointerpretativa 21
3.5.3 STUDI PRELIMINARI GENERALI E RILIEVI DI BASE 21
3.5.3.1 Rilievo geologico 21
3.5.3.2 Rilievo geomorfologico 22
3.5.3.3 Rilievo idrogeologico 23
3.5.3.4 Rilievo geomeccanico/geotecnico 23
3.5.3.5 Componente uso reale del territorio 24
3.5.3.6 Rilievi a tema geopedologico 24
3.5.3.7 Documentazione da consegnare 25
3.5.4 STUDI E RILIEVI DI DETTAGLIO 27
3.5.4.1 Rilievo geologico di dettaglio 27

3.5.4.2 Rilievo geomorfologico di dettaglio ... 28
3.5.4.3 Rilievo idrogeologico di dettaglio ... 28
3.5.4.4 Rilievo di sorgenti e dei pozzi ... 29
3.5.4.5 Rilievo litologico-tecnico di dettaglio ... 29
3.5.4.6 Rilievo geologico-tecnico di terreni entro scavi esplorativi superficiali ... 30
3.5.4.7 Rilievo geostrutturale ... 31
3.5.4.8 Studio di Analisi di Risposta Sismica Locale ... 32
3.5.4.9 Documentazione da consegnare ... 33
3.5.5 GEOMORFOLOGIA COSTIERA E FLUVIALE ... 36
3.5.5.1 Rilievo batimetrico per profili della spiaggia sommersa e per sezioni trasversali dell'alveo fluviale. . 36
3.6 PROSPEZIONI GEOFISICHE ... 39
3.6.1 GEOELETTRICA ... 39
3.6.1.1 Sondaggi geoelettrici verticali. ... 39
3.6.1.2 Prospezione geofisica con il metodo elettrico per l'esecuzione di profili di resistività ... 40
3.6.1.3 Prospezione geofisica con il metodo elettrico, con metodologia tomografica ... 41
3.6 1.4 Carotaggio geofisico con il metodo elettrico in foro di sondaggio ... 45
3.6.2 GEOGRAVIMETRIA ... 46
3.6.2.1 Prospezione geo-gravimetrica ... 46
3.6.3 GEORADAR ... 47
3.6.3.1 Rilievo elettromagnetico con metodo radar ... 47
3.6.4 GEOSISMICA ... 49
3.6.4.1 Prospezione con metodo sismico a rifrazione ... 49
3.6.4.2 Prospezione con metodo sismico a riflessione ... 52
3.6.4.3 Prospezione con tecnica Down-Hole ... 54
3.6.4.4 Prospezione con tecnica Cross-Hole ... 56
3.6.4.5 Prospezione geosismica attiva di superficie del tipo Multichannel Analysis of Surface Waves (M.A.S.W.) ... 57
3.6.4.6 Prospezione geofisica con metodo sismico passivo dei microtremori a rifrazione del tipo Refraction Microtremor (Re.Mi.) ... 58
3.6.4.7 Misure di rumore sismico ambientale a stazione singola tramite metodo HVSR ... 59
3.6.4.8 Misure di rumore sismico ambientale ad antenna sismica tramite procedura ESAC ... 60
3.6.4.9 Prospezione sismica tomografica ... 61
3.6.5 PROVE SONICHE ... 63
3.6.5.1 Carotaggio sonico in foro di sondaggio. ... 63

3.7 INDAGINI GEOGNOSTICHE 65

3.7.1 PERFORAZIONI E SONDAGGI. 65

3.7.1.1 Perforazione ad andamento verticale o con inclinazione inferiore o uguale a 15 gradi, eseguita a distruzione di nucleo. 65

3.7.1.1.1 Sondaggio per Indagini Ambientali 69

3.7.1.2 Sondaggio geognostico ad andamento verticale o con inclinazione inferiore o uguale a 15 gradi eseguito a carotaggio continuo 70

3.7.1.2.1 Sondaggio per Indagini Ambientali 92

3.7.1.3 Cassette catalogatrici atte alla conservazione di almeno 5 metri di carote di terreno provenienti da sondaggi a carotaggio continuo, compresa la fotografia digitale. 94

3.7.1.4 Prelievo a rotazione di campioni indisturbati o a limitato disturbo. 95

3.7.1.5 Prelievo a pressione di campioni indisturbati con campionatore tipo Shelby 95

3.7.1.6 Prelievo a pressione di campioni indisturbati con campionatore tipo Osterberg. 96

3.7.1.7 Prelievo di un campione rimaneggiato di terreno o di uno spezzone di carota lapidea nel corso di sondaggi, compresa la conservazione in idonei contenitori. 96

3.7.1.8 Perforazione a carotaggio continuo, ad andamento anche inclinato, eseguita con corona diamantata in corrispondenza di opere d'arte e strutture in elevazione o in fondazione. 97

3.7.2 SCAVI ESPLORATIVI DI SUPERFICIE E PRELIEVO DI CAMPIONI 98

3.7.2.1 Prelievo di campioni indisturbati da scavo esplorativo di superficie o da parete di fronte di scavo. 98

3.7.2.2 Prelievo di campioni di aggregati depositati in cumulo all'interno di carri ferroviari o di autocarri, presso impianti di frantumazione (produzione) o in opera come massicciata ferroviaria 100

3.7.2.3 Prelievo di un campione di terreno per indagini ambientali, compresa la conservazione in idonei contenitori. 101

3.7.3 PRELIEVO DI CAMPIONI IN AMBIENTE COSTIERO E FLUVIALE 102

3.7.3.1 Prelievo di campioni di terreno sciolto in corrispondenza di una spiaggia, di una spiaggia sommersa, del fondo di un alveo fluviale o della sponda di un corso d'acqua 102

3.7.4 OPERE DI COMPLETAMENTO E SISTEMAZIONE 103

3.7.4.1 Installazione all'interno di fori di sondaggio già eseguiti, di tubi in materia plastica per esecuzione di prospezioni geofisiche in foro. 103

3.7.4.2 Sistemazione al piano campagna della bocca di perforazioni e di sondaggi. 104

3.8 PROVE GEOTECNICHE IN SITO 105

3.8.1 APPARECCHIATURA IN OPERA 105

3.8.1.1 Fornitura e installazione di piezometro a tubo aperto di diametro non inferiore a mm 40. 105

3.8.1.2 Installazione di piezometro con cella tipo Casagrande a doppio tubo. 107

3.8.1.3 Installazione di piezometro elettrico. 111

3.8.1.4 Installazione di tubo inclinometrico. 114

3.8.1.5 Installazione di assestimetro elettromagnetico verticale a tubo corrugato. 118

3.8.1.6 Installazione di assestimetro a piastra. 120
3.8.1.7 Installazione di assestimetro orizzontale a cella idraulica. 122
3.8.1.8 Installazione di estensimetro a cavo. 123
3.8.1.9 Installazione di estensimetro a barra. 124
3.8.1.10 Installazione di estensimetro incrementale. 129
3.8.1.11 Installazione di estensimetro a corda vibrante o di tipo resistivo (barretta estensimetrica) 133
3.8.1.12 Installazione di fessurometro meccanico tridirezionale. 136
3.8.1.13 Installazione di fessurometro meccanico monodirezionale. 137
3.8.1.14 Installazione di fessurimetro con reticolo graduato. 138
3.8.1.15 Installazione di stazione di convergenza. 139
3.8.1.16 Installazione di cella di pressione. 142
3.8.1.17 Installazione ed esecuzione di prova con martinetto piatto. 144
3.8.2 PROVE PENETROMETRICHE E DILATOMETRICHE CONTINUE 146
3.8.2.1 Prova penetrometrica statica eseguita con dispositivo a punta meccanica (CPT) 146
3.8.2.2 Prova penetrometrica statica eseguita con dispositivo a punta elettrica (CPTE). 149
3.8.2.3 Prova penetrometrica statica eseguita con dispositivo a punta elettrica provvista di piezocono (CPTU). 152
3.8.2.4 Prova penetrometrica statica eseguita con dispositivo a punta elettrica provvista di piezocono sismico (SCPTU). 157
3.8.2.5 Prova penetrometrica dinamica continua eseguita con massa battente pesante 63,5-73 kg, (DPSH). 163
3.8.2.6 Prova penetrometrica dinamica continua eseguita con massa battente medio-leggera 10÷30 kg, (DPM). 166
3.8.2.7 Prova dilatometrica eseguita con dilatometro piatto tipo Marchetti (DMT). 168
3.8.3 ALTRE PROVE IN SITO 172
3.8.3.1 Prova di carico su piastra da eseguirsi su terreno naturale, su riempimenti compattati o su rilevati, per la determinazione del modulo di deformazione dell'ammasso terroso. 172
3.8.3.2 Prova di carico su piastra da eseguirsi su terreno naturale, su riempimenti compattati o su rilevati, per la determinazione del modulo di reazione k. 175
3.8.3.3 Prova di densità in sito con il metodo della sabbia calibrata, eseguita anche in pozzetto, compresa la fase preliminare di calibrazione della sabbia da eseguirsi in laboratorio. 177
3.8.3.4 Prova di densità in sito con il metodo del volumometro a membrana, eseguita anche in pozzetto. 179
3.8.4 PROVE IN FORO DI SONDAGGIO 181
3.8.4.1 Prova penetrometrica dinamica tipo SPT (Standard Penetration Test), da eseguire all'interno dei fori dei sondaggi geognostici. 181
3.8.4.2 Prova pressiometrica da eseguire all'interno dei fori dei sondaggi geognostici con pressiometro tipo Menard. 183

3.8.4.3 Prova scissometrica da eseguire all'interno dei fori dei sondaggi geognostici..... 187

3.8.4.4 Prova di fratturazione idraulica, da eseguire all'interno di fori di sondaggi geognostici, per la determinazione in sito dello stato di sollecitazione di un ammasso roccioso. 189

3.8.4.5 Prova dilatometrica in roccia, da eseguire all'interno di fori di sondaggi geognostici, per la determinazione in sito delle caratteristiche di deformabilità di un ammasso roccioso..... 191

3.8.4.6 Prova di permeabilità tipo Lefranc da eseguire nel corso della perforazione dei fori di sondaggio geognostico. 194

3.8.4.7 Prova di assorbimento d'acqua tipo Lugeon da eseguire nel corso della perforazione dei fori di sondaggio geognostico. 197

3.8.4.8 Misura di velocità di flusso idrico da eseguirsi con apposito micromulinello, nell'interno dei fori di sondaggio geognostico. 200

3.8.4.9 Video ispezione in foro di sondaggio verticale o sub-verticale, comunque orientato sul piano orizzontale, con telecamera a colori ad alta definizione montata su aste di alluminio centimetrate o su cavo idoneo dotato di sistema di rilevamento profondità..... 203

3.9 PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO..... 205

3.9.1 IDENTIFICAZIONE E DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE FISICHE E CHIMICHE DELLE TERRE 205

3.9.1.1 Apertura campione di terra, indisturbato o a limitato disturbo, compreso l'esame qualitativo preliminare, la descrizione litologica e la determinazione della consistenza con penetrometro e scissometro tascabili. 205

3.9.1.2 Determinazione del contenuto naturale in acqua, media di tre misure. 205

3.9.1.3 Determinazione della massa volumica apparente (peso volume) mediante fustella tarata o pesata idrostatica su campione paraffinato. 206

3.9.1.4 Determinazione della massa volumica reale dei granuli con picnometro. 206

3.9.1.5 Determinazione dei limiti di Atterberg..... 206

3.9.1.6 Determinazione del limite di ritiro. 206

3.9.1.7 Analisi granulometrica meccanica eseguita mediante setacci. 206

3.9.1.8 Analisi granulometrica per sedimentazione secondo il metodo del densimetro o della pipetta..... 207

3.9.1.9 Prova di permeabilità mediante permeametro a carico costante o variabile 207

3.9.1.10 Determinazione ponderale dei solfati e cloruri 207

3.9.1.11 Determinazione del contenuto in carbonati. 207

3.9.1.12 Determinazione del contenuto in sostanze organiche 207

3.9.1.13 Determinazione del pH con il metodo colorimetrico o con pH-metro 207

3.9.1.14 Determinazione dell'umidità di campo (Field Moisture Equivalent of Soils) 208

3.9.2 DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE FISICHE, CHIMICHE E PETROGRAFICHE DI ROCCE E AGGREGATI 208

3.9.2.1 Determinazione del contenuto naturale d'acqua, media di tre misure 208

3.9.2.2 Determinazione della massa volumica apparente su provini squadrati o informi 208
3.9.2.3 Determinazione della massa volumica apparente di aggregati (massa in mucchio) 208
3.9.2.4 Determinazione della massa volumica reale 208
3.9.2.5 Analisi granulometrica per vagliatura mediante setacci serie UNI, ASTM o BS 209
3.9.2.6 Determinazione dei coefficienti di forma e di appiattimento 209
3.9.2.7 Determinazione macroscopica dei caratteri litologici di una roccia 209
3.9.2.8 Analisi petrografica mediante determinazione microscopica su sezione sottile dei componenti mineralogici di campioni di roccia, compresa la preparazione di una sezione sottile 209
3.9.2.9 Determinazione dell'assorbimento d'acqua 210
3.9.2.10 Analisi diffrattometrica su campione di roccia per la identificazione e la determinazione percentuale dei minerali presenti 210
3.9.2.11 Determinazione dell'equivalente in sabbia mediante tre prove 211
3.9.2.12 Determinazione del contenuto di impurezze organiche 211
3.9.2.13 Determinazione del contenuto di solfati solubili di un aggregato 211
3.9.2.14 Determinazione del contenuto di cloruri solubili di un aggregato 211
3.9.2.15 Determinazione del tenore in silice 211
3.9.2.16 Determinazione del tenore in carbonati totali 211
3.9.2.17 Determinazione del modulo di finezza, esclusa la setacciatura 212
3.9.2.18 Determinazione della resistenza alla degradazione mediante solfati 212
3.9.3 DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE MECCANICHE DELLE TERRE 212
3.9.3.1 Prova di compressione ad espansione laterale libera con rilievo delle curve sforzi/deformazioni su un provino di diametro da 35 a 100 mm compresa la determinazione del contenuto in acqua e del peso di unità di volume 212
3.9.3.2 Prova di taglio diretto con scatola di Casagrande su tre provini con rilievo delle deformazioni verticali e delle curve sforzi/deformazioni trasversali nonché determinazione per ogni provino del contenuto in acqua e del peso di unità di volume 212
3.9.3.3 Prova di taglio con apparecchio anulare per la determinazione della resistenza residua su tre provini con rilievo delle deformazioni verticali e delle curve sforzi/deformazioni nonché determinazione, per ogni provino, del contenuto in acqua e del peso di unità di volume 212
3.9.3.4 Prova di taglio con scissometro da laboratorio (Vane Test), su un provino, compresa la determinazione della resistenza al taglio residua 212
3.9.3.5 Prova di compressione triassiale eseguita su tre provini con rilievo di tutti i diagrammi necessari per l'interpretazione dei risultati 213
3.9.3.6 Prova di compressione edometrica da eseguire su campioni indisturbati secondo uno schema di carico e scarico stabilito dalle Ferrovie 213
3.9.3.7 Determinazione della pressione di rigonfiamento in cella edometrica 213
3.9.3.8 Determinazione del rigonfiamento lineare in cella edometrica 213

3.9.3.9 Prova di colonna risonante (RC) 213

3.9.4 DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE MECCANICHE DI ROCCE E AGGREGATI 214

3.9.4.1 Taglio di provini prismatici, di dimensioni max cm 20 di lato, da blocchi informi di roccia o da spezzoni di carota di roccia. 214

3.9.4.2 Carotaggio di provini cilindrici da blocchi informi di roccia o da spezzoni di carota di roccia 214

3.9.4.3 Spianatura e rettifica di provini cilindrici o prismatici di roccia 214

3.9.4.4 Prova di compressione monoassiale su provini di roccia cilindrici o prismatici 215

3.9.4.5 Prova di compressione monoassiale su provini di roccia cilindrici o prismatici, con determinazione della deformabilità orizzontale e verticale (mediante l'applicazione di almeno 4 estensimetri elettrici) e con rilievo del comportamento post-rottura del provino 215

3.9.4.6 Determinazione delle costanti elastiche dinamiche di provini di roccia mediante ultrasuoni utilizzando almeno tre valori diversi di frequenza 215

3.9.4.7 Determinazione della resistenza a trazione con prova indiretta "Brasiliana" su provini di roccia cilindrici 215

3.9.4.8 Prova di carico puntiforme per la determinazione dell'indice di resistenza "Franklin" (Point Load Strength Test) su provini cilindrici e/o su frammenti informi di roccia 215

3.9.4.9 Determinazione dell'angolo di attrito di base di una roccia mediante "Tilt Test, compreso il taglio a sega della superficie di prova 216

3.9.4.10 Prova di durezza superficiale su roccia e/o struttura muraria mediante impiego di sclerometro (martello di Schmidt) 216

3.9.4.11 Determinazione del coefficiente di abrasione "Los Angeles" 216

3.9.4.12 Prova di compressione triassiale a velocità di deformazione controllata su provini di roccia con installazione di almeno 4 estensimetri elettrici di misura delle deformazioni longitudinali e trasversali all'asse di carico 216

3.9.4.13 Prova di taglio su giunti di roccia compresa la determinazione della resistenza residua 217

3.9.4.14 Prova di durabilità (Slake Durability Test) su materiale lapideo 217

3.9.4.15 Prova di costipamento di una terra per la determinazione della densità massima e dell'umidità ottimale mediante prova ASSTHO Standard o modificata eseguita su almeno 5 provini 217

3.9.4.16 Determinazione dell'indice "CBR" su un provino preparato in laboratorio mediante compattazione ed imbibizione in acqua per 4 giorni 217

3.9.4.17 Determinazione della resistenza al gelo di un aggregato 218

3.9.4.18 Determinazione della resistenza al gelo di pietre da costruzione, lastre da pavimentazione, da eseguire su 24 provini cubici di lato 71 mm per le rocce a grana fine e mm 100 per le rocce a grana grossa mediante prove di compressione su provini asciutti, provini saturi d'acqua e su provini sottoposti a cicli di gelo e disgelo 218

3.9.5 DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE CHIMICHE, FISICHE E BIOLOGICHE DI ACQUE NATURALI 218

3.9.5.1 Prelievo di un campione d'acqua da pozzi, piezometri, corsi d'acqua ecc. raccolto in contenitore sterilizzato di vetro o di materiale plastico a chiusura ermetica 218
3.9.5.2 Determinazione del contenuto in cloruri. 218
3.9.5.3 Determinazione del contenuto in solfati. 218
3.9.5.4 Determinazione del contenuto in solfuri. 218
3.9.5.5 Determinazione del contenuto in carbonati. 219
3.9.5.6 Determinazione del contenuto in bicarbonati. 219
3.9.5.7 Determinazione del contenuto in CO2 libera. 219
3.9.5.8 Determinazione del contenuto in nitrati. 219
3.9.5.9 Determinazione del contenuto in nitriti. 219
3.9.5.10 Determinazione della durezza. 219
3.9.5.11 Determinazione del pH. 219
3.9.5.12 Analisi batteriologica con determinazione di coliformi totali, coliformi fecali, streptococchi e salmonelle. 220
3.9.5.13 Determinazione della conducibilità e della temperatura. 220
3.9.5.14 Determinazione del contenuto in calcio. 220
3.9.5.15 Determinazione del contenuto in magnesio. 220
3.9.5.16 Determinazione del contenuto in sodio. 220
3.9.5.17 Determinazione del contenuto in potassio. 220

3.1 SCOPO E CAMPO DI APPLICAZIONE

La presente sezione è parte integrante del Capitolato Generale Tecnico di Appalto delle Opere Civili (RFI DTC SI SP IFS 001 A) e sostituisce la Sezione 3 della parte II del precedente Capitolato (cod. RFI DTC SICS GE SP IFS 001 A - del 31/12/2015).

Il presente documento definisce le procedure e le metodologie per l'esecuzione di rilievi geologici, geomorfologici ed idrogeologici, di indagini geognostiche e geofisiche, di prove geotecniche in sito e di laboratorio.

Per ciascuna attività 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 Ferrovie al termine o durante le indagini medesime.

3.1.1 CAMPO DI APPLICAZIONE

La presente sezione di capitolato si adotta per rilievi geologici, indagini geognostiche e geofisiche, prove in sito e di laboratorio che usualmente vengono effettuate per la progettazione di infrastrutture ed opere civili, nel rispetto dei dettami del D.lg. 12/04/06, n. 163 (Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE - G.U. n. 100 del 2 maggio 2006) ed in particolare di quanto indicato agli artt. 1,8,9,13,93 e all'Allegato XXI, e del relativo regolamento di esecuzione ed attuazione (DPR 207 del 05/10/2010).

3.1.2 GENERALITA'

Nelle prescrizioni facenti parte del presente capitolato, per brevità ed uniformità, è solitamente indicato con il termine generico di "Ferrovie", RFI S.p.A. o chi agisce in nome e per conto di RFI S.p.A. (Direzione lavori, Alta sorveglianza).

Analogamente per la parte esecutrice è usato il termine generico di "Esecutore", che sta ad indicare il soggetto incaricato dell'esecuzione dei lavori (Appaltatore, General Contractor ,Contraente Generale).

Per quanto concerne indagini, rilievi e prove di particolare specializzazione non contenute nel capitolato, dovrà prevedersi di volta in volta un'apposita documentazione da sottoporre all'approvazione delle Ferrovie. L'utilizzo di innovazioni tecnologiche, migliorative, che potranno intervenire nel corso di validità del presente capitolato, relativamente ad attrezzature, modalità di esecuzione di indagini, rilievi, prove in sito e in laboratorio, dovrà essere approvato da Ferrovie.

3.1.2.1 Programma e modalità operative

Tutte le prestazioni riportate nel presente capitolato dovranno essere preventivamente ed espressamente ordinate o comunque autorizzate da Ferrovie e dovranno essere eseguite secondo le modalità operative indicate.

Detta espressa e preventiva autorizzazione si intende riferita anche a particolari operativi quali:

- estensione e confini delle aree degli studi di tipo cartografico;
- numero, ubicazione, tipologia e profondità di sondaggi e prove in sito;
- numero, lunghezza, ubicazione e disposizione di basi o di stazioni geofisiche in superficie ed in foro;
- tipologia e metodologia di prove in sito di qualunque genere;
- ubicazione e dimensionamento di sezioni, aree, o tratti da indagare con misure in sito;
- tipo, ubicazione e numero di apparecchiature di misura da installare in sito;
- tipologia del/dei sistemi di acquisizione dei dati.

3.1.2.2 Coordinamento tecnico

Indipendentemente dalla sorveglianza e dal controllo che sarà svolto dal personale tecnico di Ferrovie, i rilievi, le indagini, le prove e le misure in sito dovranno essere condotti da professionisti e tecnici specializzati, dotati di competenza e esperienza, e dovranno essere responsabilmente diretti da un Geologo, abilitato all'esercizio della professione.

In particolare detto professionista sarà responsabile delle operazioni di campagna (rilievi tematici, sondaggi, prove in sito, ecc.) per l'esatta classificazione dei terreni oggetto di indagine nonché per gli aspetti geologici, idrogeologici e geotecnici delle installazioni, delle prove e delle misure in sito, e, più in generale, dell'individuazione del modello geologico-strutturale, idrogeologico e geotecnico/geomeccanico della porzione di territorio, in superficie ed in profondità, oggetto dell'indagine.

3.1.2.3 Confezionamento e conservazione dei campioni

Tutti i campioni prelevati dovranno essere confezionati in contenitori adatti recanti ciascuno le indicazioni atte a consentire la localizzazione del campione (data del prelievo, cantiere, numero del sondaggio, profondità di prelievo, direzione di prelievo delle carote, ecc.). I campioni indisturbati di terreno o roccia, comunque prelevati, dovranno essere racchiusi in contenitore rigido, sigillato con paraffina onde mantenerne invariati la tessitura e il contenuto di umidità al momento del prelievo. Ciascun contenitore dovrà essere etichettato con le indicazioni per l'individuazione del campione e del sito di prelievo, le caratteristiche geotecniche approssimate, il tipo di campionatore impiegato, la data del prelievo. Tutti i campioni dovranno essere conservati in locali riparati dalle intemperie e da eccessivo calore, anche artificiale e da possibili infiltrazioni d'acqua. L'Esecutore dovrà provvedere a sua cura e spese al trasporto di tutti i campioni nel luogo che sarà indicato da Ferrovie o al laboratorio che eseguirà le prove geotecniche.

3.1.2.4 Elaborati da consegnare

Al completamento delle indagini l'Esecutore dovrà consegnare a Ferrovie tutti gli elaborati indicati nel paragrafo "Documenti da consegnare", nessuno escluso, redatti utilizzando i simboli grafici in uso presso Ferrovie. Tali elaborati, salvo diversa disposizione, potranno essere riuniti in un unico fascicolo, ordinati in maniera logica, per categoria o per oggetto di indagine.

In generale, oltre a quanto indicato nelle specifiche attività, l'Esecutore dovrà consegnare una relazione conclusiva nella quale saranno descritte le indagini eseguite, le attrezzature impiegate, le modalità esecutive adottate, i criteri e gli algoritmi adottati nelle elaborazioni, e saranno riassunte le risultanze delle indagini medesime ponendo in evidenza gli elementi di maggiore interesse o le eventuali necessità di approfondimento di indagine. Tale relazione dovrà essere corredata, oltre che dagli elaborati indicati nelle avvertenze specifiche, da grafici, tabelle e fotografie ritenute utili ai fini della completezza e della chiarezza di esposizione oltre che da certificati di taratura delle attrezzature impiegate o loro copia conforme e nel caso di installazione di sensori ed apparecchi di monitoraggio le loro caratteristiche tecniche.

Tutti gli elaborati saranno consegnati a Ferrovie in due esemplari originali, di cui uno riproducibile, firmati dagli esecutori specialisti e dal Geologo coordinatore dell'Esecutore, salvo diverse disposizioni contrattuali. Inoltre, tutti gli elaborati dovranno essere consegnati su n. 1 supporto digitale (CD, DVD) in formato da concordare preventivamente con Ferrovie.

3.1.2.5 Prestazioni in regime di qualità

Le prestazioni riferite ai rilevamenti geologici, geomorfologici, idrogeologici nonché all'esecuzione delle indagini geognostiche e geofisiche, delle prove in sito ed in laboratorio dovranno seguire procedure gestite in regime di qualità conformemente a quanto stabilito nella norma UNI EN ISO 9001.

3.2 DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

I lavori saranno eseguiti in accordo alle norme di legge, istruzioni e normative tecniche applicabili, nonché a tutte quelle indicate nel presente documento e nelle sezioni di Capitolato richiamate nel testo.

Si elencano di seguito la principale normativa e documentazione di riferimento.

3.2.1 NORMATIVE DI RIFERIMENTO

3.2.1.1 Normativa Nazionale

- Decreto legislativo n. 50 del 2016 (articolo 217, lettera "e") - Attuazione delle direttive 2014/23/UE, 2014/24/UE e 2014/25/UE sull'aggiudicazione dei contratti di concessione, sugli appalti pubblici e sulle procedure d'appalto degli enti erogatori nei settori dell'acqua, dell'energia, dei trasporti e dei servizi postali, nonché per il riordino della disciplina vigente in materia di contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture.
- Decreto legislativo 9 aprile 2008, n. 81 - Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro.
- D.M. 14 Gennaio 2008 - Nuove Norme Tecniche per le costruzioni
- Regio decreto 16 novembre1939, n. 2232 - Norme per l'accettazione delle pietre naturali da costruzione

3.2.1.2 Normativa Europea

- UNI 6135 (1972). Prova di trazione indiretta prova brasiliana – RITIRATA IL 15/03/2005 SENZA SOSTITUZIONE
- UNI 11531-1 (2014). Costruzione e manutenzione delle opere civili delle infrastrutture - Criteri per l'impiego dei materiali - Parte 1: Terre e miscele di aggregati non legati
- UNI EN 206 (2014). Calcestruzzo. Specificazioni, prestazioni, produzione e conformità.
- UNI EN 932-1 (1998) – "Metodi di prova per determinare le proprietà generali degli aggregati. Metodi di campionamento."
- UNI EN 932-2 (2000) – "Metodi di prova per determinare le proprietà generali degli aggregati - Metodi per la riduzione dei campioni di laboratorio"
- UNI EN 932-3 (2004). Metodi di prova per determinare le proprietà generali degli aggregati - Procedura e terminologia per la descrizione petrografica semplificata
- UNI EN 932-5 (2012). Metodi di prova per determinare le proprietà generali degli aggregati - Parte 5: Attrezzatura comune e taratura
- UNI EN 932-6 (2001). Metodi di prova per determinare le proprietà generali degli aggregati - Definizioni di ripetibilità e riproducibilità
- UNI EN 933-1 (2012). Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati - Parte 1: Determinazione della distribuzione granulometrica - Analisi granulometrica per setacciatura
- UNI EN 933-2 (1997). Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati - Determinazione della distribuzione granulometrica - Stacci di controllo, dimensioni nominali delle aperture.
- UNI EN 933-3 (2012). Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati - Parte 3: Determinazione della forma dei granuli - Indice di appiattimento
- UNI EN 933-4 (2008). Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati - Parte 4: Determinazione della forma dei granuli - Indice di forma
- UNI EN 933-5 (2006). Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati - Parte 5: Determinazione della percentuale di superfici frantumate negli aggregati grossi

- UNI EN 933-6 (2014). Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati - Parte 6: Valutazione delle caratteristiche superficiali - Coefficiente di scorrimento degli aggregati
- UNI EN 933-8 (2015). Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati - Parte 8: Valutazione dei fini - Prova dell'equivalente in sabbia
- UNI EN 933-9 (2013). Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati - Parte 9: Valutazione dei fini - Prova del blu di metilene
- UNI EN 933-10 (2009). Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati - Parte 10: Valutazione dei fini - Granulometria dei filler (setacciatura a getto d'aria)
- UNI EN 933-11 (2009). Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati - Parte 11: Prova di classificazione per i costituenti degli aggregati grossi riciclati
- UNI EN 1097-1 (2011). Prove per determinare le proprietà meccaniche e fisiche degli aggregati - Parte 1: Determinazione della resistenza all usura (micro-Deval).
- UNI EN 1097-2 (2010). Prove per determinare le proprietà meccaniche e fisiche degli aggregati - Parte 2: Metodi per la determinazione della resistenza alla frammentazione.
- UNI EN 1097-3 (1999). Prove per determinare le proprietà meccaniche e fisiche degli aggregati - Determinazione della massa volumica in mucchio e dei vuoti intergranulari.
- UNI EN 1097-4 (2008). Prove per determinare le proprietà meccaniche e fisiche degli aggregati - Parte 4: Determinazione della porosità del filler secco compattato.
- UNI EN 1097-5 (2008). Prove per determinare le proprietà meccaniche e fisiche degli aggregati - Parte 5: Determinazione del contenuto d'acqua per essiccazione in forno ventilato.
- UNI EN 1097-6 (2013). Prove per determinare le proprietà meccaniche e fisiche degli aggregati - Parte 6: Determinazione della massa volumica dei granuli e dell'assorbimento d'acqua.
- UNI EN 1097-7 (2008). Prove per determinare le proprietà meccaniche e fisiche degli aggregati - Parte 7: Determinazione della massa volumica del filler - Metodo con picnometro.
- UNI EN 1097-8 (2009). Prove per determinare le proprietà meccaniche e fisiche degli aggregati - Parte 8: Determinazione del valore di levigabilità.
- UNI EN 1097-9 (2014). Prove per determinare le proprietà meccaniche e fisiche degli aggregati - Parte 9: Determinazione della resistenza all'usura per abrasione da pneumatici chiodati - Prova scandinava.
- UNI EN 1367-1 (2007). Prove per determinare le proprietà termiche e la degradabilità degli aggregati - Parte 1: Determinazione della resistenza al gelo e disgelo.
- UNI EN 1367-2 (2010). Prove per determinare le proprietà termiche e la degradabilità degli aggregati - Parte 2: Prova al solfato di magnesio.
- UNI EN 1744-1 (2013). Prove per determinare le proprietà chimiche degli aggregati - Parte 1: Analisi chimica.
- UNI EN 1744-6 (2007). Prove per determinare le proprietà chimiche degli aggregati - Parte 6: Determinazione dell'influenza di un estratto di aggregato riciclato sul tempo di inizio presa del cemento.
- UNI EN 1744-8 (2012). Prove per determinare le proprietà chimiche degli aggregati - Parte 8: Prova di classificazione per determinare il contenuto di metallo da incenerimento nelle ceneri da rifiuti solidi urbani (Aggregati MIBA).
- UNI EN 1936 (2007). Metodi di prova per pietre naturali - Determinazione della massa volumica reale e apparente e della porosità totale e aperta.
- UNI EN 10675 (2010) Acque destinate al consumo umano - Ricerca e conta dei coliformi totali - Tecnica del numero più probabile (MPN).
- UNI EN 10677 (2011) Acque destinate al consumo umano - Ricerca e conta degli enterococchi - Tecnica del numero più probabile (MPN).

- UNI EN 12504-1 (2009). Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Parte 1: Carote - Prelievo, esame e prova di compressione.
- UNI EN 12504-2 (2012). Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Parte 2: Prove non distruttive - Determinazione dell'indice sclerometrico.
- UNI EN 12620 (2008). Aggregati per calcestruzzo.
- UNI EN 13043 (2004). Aggregati per miscele bituminose e trattamenti superficiali per strade, aeroporti e altre aree soggette a traffico.
- UNI EN 13139 (2003). Aggregati per malta.
- UNI EN 13161 (2008). Metodi di prova per pietre naturali - Determinazione della resistenza a flessione a momento costante.
- UNI EN 13242 (2008). Aggregati per materiali non legati e legati con leganti idraulici per l'impiego in opere di ingegneria civile e nella costruzione di strade.
- UNI EN 13450 (2003). Aggregati per massicciate per ferrovie.
- UNI EN 14617-10 (2012). Lapidei agglomerati - Metodi di prova - Parte 10: Determinazione della resistenza chimica.
- UNI EN 27888 (1995). Qualità dell'acqua. Determinazione della conducibilità elettrica.
- UNI EN ISO 7980 (2002). Qualità dell'acqua - Determinazione di calcio e magnesio - Metodo per spettrometria di assorbimento atomico.
- UNI EN ISO 9963-2 (1998). Qualità dell'acqua - Determinazione dell'alcalinità - Determinazione dell'alcalinità carbonatica.
- UNI EN ISO 14688-1 (2013). Indagini e prove geotecniche - Identificazione e classificazione dei terreni - Parte 1: Identificazione e descrizione.
- UNI EN ISO 14688-2 (2013). Indagini e prove geotecniche - Identificazione e classificazione dei terreni - Parte 2: Principi per una classificazione.
- UNI EN ISO 22476-5 (2013) – Indagini e prove geotecniche - Prove in sito - Parte 5: Prova con dilatometro flessibile.
- UNI EN ISO 22476-12 (2009). Indagini e prove geotecniche - Prove in sito - Parte 12: Prova meccanica di penetrazione del cono (CPTM).
- UNI EN 1997-1 (2013) – Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica - Parte 1: Regole generali.
- UNI EN 1997-2 (2007) – Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica - Parte 2: Indagini e prove nel sottosuolo.
- UNI EN 1997-2 (2007) - Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica - Parte 2: Indagini e prove nel sottosuolo.
- UNI EN 1998-5 (2005). Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.
- UNI ISO 9297 (2009). Qualità dell'acqua - Determinazione dei cloruri - Titolazione con nitrato di argento ed indicatore cromato (Metodo di Mohr).
- UNICHIM, manuale n° 157 (1997). Acque per il consumo umano e potabilizzazione
- UNICHIM, metodo MU n° 939 (94). Acque destinate al consumo umano - Determinazione dei nitriti: azoto nitroso - Metodo spettrometrico alla solfanilammide e alla naftilendiammina
- UNICHIM, metodo MU n° 940 (95). Acque destinate al consumo umano - Determinazione dei nitrati e Azoto nitrico - Metodo spettrometrico diretto all'UV
- UNICHIM, metodo MU n° 945 (95). Acque destinate al consumo umano - Determinazione dei solfuri solubili - Metodo potenziometrico diretto mediante elettrodo ionoselettivo.

- UNICHIM, metodo MU n° 952/1 (2001). Acque destinate al consumo umano - Ricerca e determinazione dei coliformi totali - Metodo Membrana Filtrante (MF)
- UNICHIM, metodo MU n° 953/1 (2001). Acque destinate al consumo umano - Ricerca e determinazione dei coliformi fecali - Metodo Membrana Filtrante (MF).
- UNICHIM 953/2 (2001). Acque destinate al consumo umano - Ricerca e determinazione dei coliformi fecali - Metodo Most Probable Number (MPN).
- UNICHIM, metodo MU n° 954/1 (2002). Acque destinate al consumo umano - Ricerca e determinazione degli streptococchi fecali - Metodo Membrana Filtrante (MF)
- UNI 10500 (1996). Acque destinate al consumo umano. Misurazione della temperatura.
- UNI 10501(1996). Acque destinate al consumo umano. Misurazione del pH. Metodo potenziometrico. RITIRATA il 23/07/2009 SENZA SOSTITUZIONE.
- UNI 10503 (1996). Acque destinate al consumo umano. Determinazione della silice. Metodo colorimetrico al blu di molibdeno.
- UNI 10507(1996). Acque destinate al consumo umano. Determinazione dell'anidride carbonica libera. Metodo acidimetrico.
- UNI EN ISO 7980 (2002) - Qualità dell'acqua - Determinazione di calcio e magnesio - Metodo per spettrometria di assorbimento atomico .
- UNI 10542 (1996). Acque destinate al consumo umano. Determinazione del potassio. Metodo spettrometrico per assorbimento atomico con aspirazione diretta in fiamma. RITIRATA il 06/08/2009 SENZA SOSTITUZIONE.
- UNI 10543 (1996). Acque destinate al consumo umano. Determinazione del sodio. Metodo spettrometrico per assorbimento atomico con aspirazione diretta in fiamma. RITIRATA il 06/08/2009 SENZA SOSTITUZIONE.

3.2.1.3 Normativa Internazionale

- AASHTO, Designation T 93-68. Determinazione della umidità di campo
- A.F.T.E.S., 1992 - Text of recommendations for a description of rock masses useful for examining the stability of underground works
- ASTM 3148 (2002). Standard Test Method for Elastic Moduli of Intact Rock Core Specimens in Uniaxial Compression (Ritirata il 2005) - Abrogata
- ASTM C119 (2016). Standard Terminology Relating to Dimension Stone.
- ASTM C131/C131M (2006). Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine.
- ASTM C535 (2016). Standard Test Method for Resistance to Degradation of Large-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine.
- ASTM D421 (2007). Standard Practice for Dry Preparation of Soil Samples for Particle-Size Analysis and Determination of Soil Constants (Ritirata il 2016). Abrogata
- ASTM D422 (2007). Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils. Abrogata
- ASTM D427 (2004). Test Method for Shrinkage Factors of Soils by the Mercury Method (Ritirata il 2008) Abrogata.
- ASTM D653 (2014) Standard Terminology Relating to Soil, Rock, and Contained Fluids
- ASTM D698 (2012) Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12 400 ft-lbf/ft3 (600 kN-m/m3)).
- ASTM D854 (2014) Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer

- ASTM D1556/D1556M (2015) – "Standard Test Method for Density and Unit Weight of Soil in Place by Sand-Cone Method"
- ASTM D1557 (2012). Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft3 (2,700 kN-m/m3))
- ASTM D1586 (2011) - "Standard Test Method for Standard Penetration Test (SPT) and Split-Barrel Sampling of Soils ".
- ASTM D1883 (2016). Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils.
- ASTM D2166/D2166M (2016). Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil.
- ASTM D2216 (2010). Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass.
- ASTM D2217 (1998). Standard Practice for Wet Preparation of Soil Samples for Particle-Size Analysis and Determination of Soil Constants (Ritirata il 2007). Abrogata
- ASTM D2419 (2014). Standard Test Method for Sand Equivalent Value of Soils and Fine Aggregate.
- ASTM D2434 (2006). Standard Test Method for Permeability of Granular Soils (Constant Head) (Ritirata il 2015). Abrogata
- ASTM D2435/D2435M (2011) . Standard Test Methods for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils Using Incremental Loading.
- ASTM D2487 (2011). Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System).
- ASTM D2488 (2009). Standard Practice for Description and Identification of Soils (Visual-Manual Procedure).
- ASTM D2664 (2004). Standard Test Method for Triaxial Compressive Strength of Undrained Rock Core Specimens Without Pore Pressure Measurements (Ritirata il 2005). Abrogata
- ASTM D2845 (2008). Standard Test Method for Laboratory Determination of Pulse Velocities and Ultrasonic Elastic Constants of Rock.
- ASTM D2850 (2015). Standard Test Method for Unconsolidated-Undrained Triaxial Compression Test on Cohesive Soils.
- ASTM D2938 (1995). Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Intact Rock Core Specimens. Abrogata
- ASTM D2974 (2014). Standard Test Methods for Moisture, Ash, and Organic Matter of Peat and Other Organic Soils.
- ASTM D3080/D3080M (2011). Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions.
- ASTM D3282 (2015). Standard Practice for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes.
- ASTM D3441 (2016) - Standard Test Method for Mechanical Cone Penetration Testing of Soils
- ASTM D4318 (2010). Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils.
- ASTM D4373 (2014). Standard Test Method for Rapid Determination of Carbonate Content of Soils.
- ASTM D4543 (2008). Standard Practices for Preparing Rock Core as Cylindrical Test Specimens and Verifying Conformance to Dimensional and Shape Tolerances.
- ASTM D4546 (2014). Standard Test Methods for One-Dimensional Swell or Collapse of Soils.
- ASTM D4644 (2008). Standard Test Method for Slake Durability of Shales and Similar Weak Rocks.

- ASTM D4645 (2008). Standard Test Method for Determination of In-Situ Stress in Rock Using Hydraulic Fracturing Method.
- ASTM D4648/D4648M (2016). Standard Test Methods for Laboratory Miniature Vane Shear Test for Saturated Fine-Grained Clayey Soil.
- ASTM D4719 (2007). Standard Test Methods for Prebored Pressuremeter Testing in Soils (Ritirata il 2016) Abrogata
- ASTM D4729 (2008). Standard Test Method for In Situ Stress and Modulus of Deformation Using Flatjack Method.
- ASTM D4767 (2011). Standard Test Method for Consolidated Undrained Triaxial Compression Test for Cohesive Soils.
- ASTM D4943 (2008). Standard Test Method for Shrinkage Factors of Soils by the Wax Method.
- ASTM D4972 (2013). Standard Test Method for pH of Soils.
- ASTM D5079 (2008). Standard Practices for Preserving and Transporting Rock Core Samples.
- ASTM D5084 (2016). Standard Test Methods for Measurement of Hydraulic Conductivity of Saturated Porous Materials Using a Flexible Wall Permeameter.
- ASTM D5407 (2000). Standard Test Method for Elastic Moduli of Undrained Intact Rock Core Specimens in Triaxial Compression Without Pore Pressure Measurement (Ritirata il 2005). Abrogata
- ASTM D5607 (2008). Standard Test Method for Performing Laboratory Direct Shear Strength Tests of Rock Specimens Under Constant Normal Force.
- ASTM D5731 (2008). Standard Test Method for Determination of the Point Load Strength Index of Rock and Application to Rock Strength Classifications.
- ASTM D5777 (2011). Standard Guide for Using the Seismic Refraction Method for Subsurface Investigation.
- ASTM D5778 (2012). Standard Test Method for Electronic Friction Cone and Piezocone Penetration Testing of Soils.
- ASTM D5873 (2014). Standard Test Method for Determination of Rock Hardness by Rebound Hammer Method.
- ASTM D6032 (2008). Standard Test Method for Determining Rock Quality Designation (RQD) of Rock Core
- ASTM D6432 (2011). Standard Guide for Using the Surface Ground Penetrating Radar Method for Subsurface Investigation.
- ASTM D6467 (2013). Standard Test Method for Torsional Ring Shear Test to Determine Drained Residual Shear Strength of Cohesive Soils.
- ASTM D6635 (2015). Standard Test Method for Performing the Flat Plate Dilatometer

3.2.1.4 Documentazione Tecnica

- AGI, 1977. "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche"
- AGI, 1994. Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio
- Barton N.-Choubey V.- "The shear strength of rock joints, theory and practice", Rock Mechanics, vol. 10, 1977
- Bollettino del Servizio Geologico d'Italia, Vol. LXXXIX (1968)- Codice italiano di nomenclatura stratigrafica
- BS 1377-1990. Methods of test for soils for civil engineering purposes.
- BS 812-103.1 (1985). Testing aggregates. Method for determination of particle size distribution. Sieve tests.

- BS 812-118 (1988). Testing aggregates. Methods for determination of sulphate content.
- BS 812-117 (1988). Testing aggregates. Methods for determination of water-soluble chloride salts.
- BS 812-2 (1995). Testing aggregates. Methods for determination of density
- CNR-BU n. 22-1972 - Peso specifico apparente di una terra in sito
- CNR-BU n. 25-1972 - Campionatura di terre e terreni
- CNR-BU n. 64-1978 - Determinazione della massa volumica reale dei granuli di un aggregato.
- CNR-BU n. 76-1980 - Determinazione della massa volumica di aggregati assestati con Tavola a scosse.
- CNR-BU n. 92-1983 - Determinazione del modulo di reazione "k" dei sottofondi e delle fondazioni in misto granulare.
- CNR-BU n. 104-1984 - Identificazione delle rocce più comuni impiegate come aggregati stradali.
- CNR-BU n. 146-1992 - Determinazione dei moduli di deformazione Md e M'd mediante prova di carico a doppio ciclo con piastra circolare
- CNR-IRSA (1976) – Metodi analitici per le acque. Vol. I - II
- ISRM (1974) - "Suggested Methods for Determining Shear Strength", Document 1
- ISRM (1977) - "Suggested methods for determining hardness and abrasiveness of rocks".
- ISRM (1977) - Suggested Methods for Petrographic Description of Rocks
- ISRM (1978) - Suggested Methods for the Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses
- ISRM (1978) - "Suggested Method for Determining Indirect Tensile Strength by Brazil Test"
- ISRM (1978) - "Suggested Methods for Determining the Strength of Rock Materials in Triaxial Compression"
- ISRM (1978) - "Suggested Methods for Monitoring Rock Movements using Borehole Extensometers".
- ISRM (1978) - "Suggested methods for determining sound velocity"
- ISRM (1979) - "Suggested methods for determining the uniaxial compressive strength and deformability of rock materials"
- ISRM (1979) - "Suggested Methods for Determining Water Content, Porosity, Density, Absorption and Related Properties and Swelling and Slake-Durability Index Properties"
- ISRM (1980) - "Suggested Methods for Pressure Monitoring Using Hydraulic Cells", Document n° 6
- ISRM (1981) - Basic Geotechnical Description of Rock Masses
- ISRM (1983) - "Suggested Methods for Determining the Strength of Rock Materials in Triaxial Compression: revised version"
- ISRM (1985) - "Suggested methods for determining Point Load Strength".
- ISRM (1987) - "Suggested methods for rock stress determination".
- ISRM (1987) - "Suggested methods for deformability determination using a flexible dilatometer"
- ISRM (1993) - "Supporting paper on a suggested improvement to the Schmidt rebound hardness ISRM suggested method with particular reference to rock machineability".
- ISSMFE Technical Committee (1988). Standard Penetration Test (SPT: International Reference Test Procedure.
- ISSMFE Technical committee on Penetration Testing (1988). Cone Penetration Test (CPT): International Reference Test Procedure.
- ISSMFE Technical Committee on Penetration Testing (1988) -"Dynamic Probing (DP): International Reference Test Procedure".
- Rivista Italiana di Geotecnica - "Raccomandazioni per la misura della resistenza al punzonamento", n° 1, 1994.
- Rivista Italiana di Geotecnica -"Raccomandazioni per determinare la resistenza a compressione monoassiale e la deformabilità dei materiali rocciosi", n° 3, 1994.

- 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
- Standard Methods for the examination of water and wastewater, n° 2320, 18a edizione, 1992.

3.3 DEFINIZIONI

(PER MEMORIA)

3.4 ABBREVIAZIONI

(PER MEMORIA)

3.5 RILIEVI GEOLOGICI

3.5.1 PREMESSA

Gli studi geologici, in senso lato, devono fornire una descrizione dell'ambiente fisico in cui si inserisce l'opera in progetto e definire in modo rigoroso il modello geologico-strutturale, idrogeologico, geomorfologico e geotecnico/geomeccanico per permettere al progettista di operare le scelte ingegneristiche più idonee alla funzionalità dell'opera stessa anche in riferimento ai richiami contenuti nel DM 14/1/08 "Norme tecniche per le costruzioni"- G.U.n° 25 del 4/2/08.

La cartografia di base necessaria per i rilievi tematici dovrà avere una scala maggiore o uguale a quella indicata dal Dlgs 12/04/06 n. 163 e s.m.i. per le diverse fasi progettuali, il grado di approfondimento dell'esame dei vari tematismi sarà indicato o comunque concordato con le Ferrovie.

L'ampiezza dell'area di studio deve essere 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.

Lo studio, dovrà essere sviluppato su carte tematiche a scala adeguata e dovrà tendere anche alla focalizzazione e risoluzione di problematiche conoscitive e analitiche di determinate aree caratterizzate da situazioni geologico-strutturali, geomorfologiche, idrogeologiche o geotecniche/geomeccaniche di particolare interesse ai fini progettuali, secondo le indicazioni che saranno fornite da Ferrovie. Legende, simbolismi ed ulteriori indicazioni da riportare nelle relazioni e nella cartografia dovranno rispondere a quelle indicate dall'ISPRA (ex SGN).

Le attività di studio e rilievo si dovranno in genere articolare secondo le fasi operative indicate ai successivi paragrafi.

3.5.2 ATTIVITÀ PROPEDEUTICHE

3.5.2.1 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. L'attività è finalizzata al reperimento dei dati e delle notizie riguardanti i caratteri lito-stratigrafici, tettonici, idrogeologici e geomorfologici e, ove disponibili, dei dati di carattere geologico-tecnico.

L'attività riguarderà anche la ricerca, raccolta, analisi e sintesi di studi ed indagini, a carattere geologico-tecnico, relativi a strutture già realizzate, al fine di permettere la predisposizione di un rapporto tecnico nel quale siano raccolte tutte le informazioni di carattere geologico, geomorfologico, idrogeologico, geofisico e geotecnico disponibili, derivanti da studi e indagini in sito e di laboratorio eseguite nella fase progettuale precedente a quella in corso.

Nel caso di progettazione preliminare andranno reperiti 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 similari 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, geofisico e geotecnico.

3.5.2.2 Analisi fotointerpretativa

Lo studio fotointerpretativo deve essere di supporto ai rilievi di campagna e consentire quindi la programmazione 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 devono essere indicate la data e l'altezza del volo e la scala del rilievo.

Ai fini dell'analisi dell'evoluzione dei processi geomorfici (endogeni ed esogeni) in atto, quiescenti o di riattivazione deve essere effettuato un confronto tra foto aeree eseguite in periodi diversi.

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.

3.5.3 STUDI PRELIMINARI GENERALI E RILIEVI DI BASE

Rilevamenti e studi di carattere geologico applicativo e redazione delle relative carte tematiche a scala uguale o inferiore a 1:5.000.

Il rilevamento dovrà tendere a ricostruire, sulla base delle moderne ipotesi sugli eventi geologici che hanno portato alla formazione dell'attuale struttura geologica interessata dagli studi, il quadro stratigrafico-strutturale regionale, gli aspetti tettonici e la caratterizzazione lito-stratigrafica delle formazioni giungendo alla formulazione di un modello di caratterizzazione in sito degli ammassi rocciosi dal punto di vista strutturale, geolitologico, geomorfologico, idrogeologico e geotecnico/geomeccanico.

Il rilevamento e gli studi dovranno fornire la caratterizzazione sismica del sito indicando, inoltre i valori dei parametri richiesti dalla legislatura vigente per la valutazione della pericolosità sismica.

I rilevamenti e gli studi di base, avvalendosi anche delle indagini in sito (di tipo diretto ed indiretto) ed in laboratorio, dovranno evidenziare le eventuali problematiche tecniche connesse all'interazione tra ambiente fisico e opera in progetto sviluppando il programma d'indagine della successiva fase progettuale.

3.5.3.1 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;
- spessore della formazione e sue variazioni;
- rapporto con formazioni sottostanti, sovrastanti e laterali;
- fossili;
- ambiente di deposizione;
- età.

Le unità litostratigrafiche dovranno essere caratterizzate dal punto di vista litologico-tecnico secondo la seguente classificazione base alla quale le rocce sono suddivise nelle classi:

- 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)

3.5.3.2 Rilievo geomorfologico

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

3.5.3.3 Rilievo idrogeologico

Nello studio idrogeologico devono essere presi in considerazione tutti quegli elementi emersi dai rilievi geologico e geomorfologici 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 ove possibile 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. A tal proposito dovrà essere inoltre valutata l'interferenza dell'opera in progetto con i punti d'acqua censiti in funzione delle leggi nazionali e dei regolamenti regionali.

3.5.3.4 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.

Ciascuna stazione di misura dovrà essere caratterizzata da:

- una tabella riassuntiva riportante l'ubicazione della stazione e i risultati delle misurazioni effettuate;
- la proiezioni stereografiche su reticolo equiareale di Schmidt dell'orientazione delle discontinuità rilevate;
- gli indici di qualità degli ammassi rocciosi secondo le classificazioni geomeccaniche concordate con Ferrovie.

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).

Ciascuna stazione di misura dovrà essere caratterizzata da:

- una tabella riassuntiva riportante l'ubicazione della stazione e la descrizione del materiale prelevato;
- i risultati delle prove geotecniche di laboratorio;
- la classificazione USCS dei terreni.

3.5.3.5 Componente uso reale del territorio

Per quanto attiene la componente "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. Essi dovranno avere, in ogni caso, un notevole contenuto di rilevamento diretto in relazione alla peculiarità del tema ed in relazione alla scala di rappresentazione.

Lo studio dovrà essere sviluppato nell'intento di 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 boscose (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 sopra evidenziate, dovranno essere concordate con le Ferrovie 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').

3.5.3.6 Rilievi a tema geopedologico

Gli studi e i rilevamenti a tema geopedologico, 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 le Ferrovie.

3.5.3.7 Documentazione da consegnare

RELAZIONE GEOLOGICA

Comprendente una sintesi della ricerca bibliografica e dell'analisi fotointerpretativa nonché i risultati dello studio e dei rilievi svolti e di eventuali indagini geognostiche realizzate. La relazione dovrà contenere tutte le informazioni e i dati geologico-tecnici che consentano di individuare i criteri di progetto applicabili nonché i parametri e le modalità esecutive più appropriate al caso in esame con particolare riguardo alla definizione del modello geologico-strutturale di riferimento, dell'assetto lito-stratigrafico e della caratterizzazione litologico-tecnica degli ammassi; dovrà riferire in merito alle caratteristiche geotecniche e geomeccaniche degli ammassi e dei terreni indagati ed alla storia tensionale e allo stato tensionale attuale degli ammassi indagati; dovrà altresì fornire i parametri sismici atti alla individuazione delle categorie sismiche, di sottosuolo e topografiche nonché l'accelerazione sismica di riferimento.

RELAZIONE GEOMORFOLOGICA

Comprendente una sintesi della ricerca bibliografica e dell'analisi fotointerpretativa nonché i risultati dello studio e dei rilievi svolti. La relazione dovrà contenere tutte le informazioni utili riguardanti l'assetto orografico, il reticolo idrografico, le condizioni climatiche, gli aspetti morfologici e morfometrici, i dati litologici e tettonici nonché il quadro morfogenetico e morfoevolutivo dell'area.

RELAZIONE IDROGEOLOGICA

Comprendente una sintesi della ricerca bibliografica e dell'analisi fotointerpretativa nonché i risultati dello studio e dei rilievi svolti. La relazione dovrà contenere tutte le informazioni utili riguardanti l'idrologia di superficie, l'idrologia sotterranea (emergenza di acque sotterranee, caratteristiche degli acquiferi, caratteristiche idrodinamiche, caratteristiche idrochimiche), l'individuazione dei complessi idrogeologici distinti in funzione del loro grado di permeabilità relativa, nonché le opere artificiali e le aree carsiche che interessano l'area.

RELAZIONE LITOLOGICO-TECNICA

Comprendente una sintesi delle analisi e dei rilievi eseguiti per l'individuazione delle unità litostratigrafiche suddivise secondo la classificazione in uso e ne illustrerà le caratteristiche geotecnici/geomeccanici fornendo i parametri utili alla fase progettuale.

CARTA GEOLOGICA

Redatta alla scala di progetto, con indicazione degli affioramenti delle unità tettoniche e litostratigrafiche nonché degli elementi tettonici riconoscibili e cartografabili alla scala di rappresentazione;

CARTA LITOLOGICO-TECNICA DELLE FORMAZIONI AFFIORANTI

Redatta alla scala di progetto, ad indirizzo geotecnico-geomeccanico, gli affioramenti saranno suddivisi secondo la classificazione in uso.

CARTA DEI FOTOALLINEAMENTI

Redatta alla scala di progetto, la carta riporterà la posizione dei fotoallineamenti (linee di faglia, diaclasi, orli di distacco, orli di scarpata, ecc.) desunta dalle foto aeree e sarà suddivisa in aree omogenee per densità, ciascuna

delle quali caratterizzata da un diagramma stellare con selezioni direzionali di 10 gradi e con le indicazioni numeriche della densità (Km/Km^2) e della frequenza (n/Km^2) di fotoallineamenti

CARTA GEOMORFOLOGICA

Redatta alla scala di progetto, riportante tutte le evidenze geomorfologiche relative a morfogenesi di versante, fluviale, costiera, antropica; saranno inoltre evidenziate le aree per le quali non si rileva alcuna presenza di appezzabili processi morfogenetici (A), le aree con processi morfogenetici attualmente non attivi (B) e le aree con processi morfogenetici attivi (C) con l'indicazione del tipo di processo rilevato cartografabile alla scala di rappresentazione.

CARTA IDROGEOLOGICA

Redatta alla scala di progetto, riportante i terreni arealmente suddivisi per tipo e valore qualitativo della permeabilità efficace, le aree di concentrazione superficiale di acqua o a drenaggio difficoltoso, i punti d'acqua superficiali (sorgenti e pozzi), le linee di deflusso superficiale e profondo (presumibile), le linee isofreatiche ed ogni altra informazione utile alla completa rappresentazione (alla scala del disegno) dei modelli idrogeologici individuati. Per la ricostruzione delle isofreatiche verranno utilizzate, ove richiesto da Ferrovie, oltre alle informazioni bibliografiche, quelle desumibili da un censimento diretto dei punti d'acqua (sorgenti, pozzi) che saranno opportunamente indicati in cartografia.

CARTA DELLA ZONAZIONE SISMICA

Redatta alla scala di progetto, con l'indicazione dei principali eventi sismici documentati, dei principali e più frequenti epicentri localizzati, delle aree di frequenza e intensità paragonabili, dei parametri di accelerazione sismica; andrà altresì indicata la zonazione nei confronti delle categorie di sottosuolo valorizzate dei parametri utili alla loro definizione;

CARTA DELL'USO REALE DEL TERRITORIO

Redatta alla scala di progetto, con evidenziazione e delimitazione delle aree soggette a vincoli e relativa descrizione (idrogeologico, paesaggistico, urbanistico'). Con legenda e simbolismi da concordare, di volta in volta, con le Ferrovie.

CARTA GEOPEDOLOGICA

Redatta alla scala di progetto, con l'indicazione dei vari tipi di suolo originatisi per alterazione del substrato litologico sotto l'azione di fattori biologici, fisici e chimici. Con legenda e simbolismi da concordare, di volta in volta, con le Ferrovie.

SEZIONI GEOLOGICHE

In numero, posizione e scala di rappresentazione da concordare con le Ferrovie, dovranno essere rappresentative dell'assetto stratigrafico e tettonico rilevato nell'area di studio.

Nel caso di progettazione con gallerie dovranno essere prodotte almeno una sezione longitudinale ed una trasversale all'asse per ciascuna galleria compresa nell'area oggetto di studio.

SEZIONI IDROGEOLOGICHE

In numero, posizione e scala di rappresentazione da concordare con le Ferrovie, dovranno essere rappresentative dell'assetto idrogeologico rilevato nell'area di studio, con particolare riguardo alla ricostruzione della falda superficiali e di quelle profonde. Nel caso di progettazione con gallerie dovranno essere prodotte almeno una sezione longitudinale ed una trasversale all'asse per ciascuna galleria compresa nell'area oggetto di studio.

FASCICOLI DI SCHEDE TECNICHE

Relative ai punti di riscontro a terra, sia sotto il profilo litologico-tecnico (schede terreni e schede ammassi rocciosi, riportanti i dati desunti da prove di laboratorio o da misure geostrutturali su punti o aree campione) sia sotto il profilo geomorfologico per i dissesti di maggiore interesse (scheda frane), sia sotto il profilo idrogeologico (schede pozzi e schede sorgenti con l'indicazione delle misure effettuate direttamente), la cui redazione dovrà essere preventivamente autorizzata dalle Ferrovie.

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Dei punti di riscontro a terra, dei punti di misura, dei punti d'acqua rilevati o di prelievo in campagna indicati nelle schede tecniche con i necessari riferimenti descrittivi per l'univoca correlazione alle schede tecniche relative.

SCHEDE DEI PUNTI D'ACQUA

Schede di tutti i punti d'acqua censiti, pozzi ecc., con indicazione dell'ubicazione cartografica e, ove presenti, delle coordinate GPS.

SCHEDE BIBLIOGRAFICHE

Con i riferimenti di tutto il materiale consultato e della relativa reperibilità.

RELAZIONE CONCLUSIVA

La relazione dovrà contenere tutte le indicazioni rilevate dalle indagini con note illustrative e di commento della cartografia tematica e considerazioni, anche tecnico-economiche, sulle problematiche trattate in relazione alla fase progettuale dell'opera. Inoltre sulla base di tutte le informazioni desunte dallo studio e dai rilievi, dovrà essere proposto un programma di rilievi e di indagini geognostiche per la successiva fase di progettazione.

3.5.4 STUDI E RILIEVI DI DETTAGLIO

Rilevamento geologico di dettaglio ad indirizzo tecnico e redazione delle relative carte tematiche a scala superiore a 1:5.000.

Il rilevamento di dettaglio andrà eseguito a completamento dei rilievi di base, avvalendosi anche di modelli fisici, tenderà a definire le problematiche conoscitive e analitiche di determinate aree caratterizzate da situazioni geologico-strutturali, geomorfologiche, idrogeologiche o geotecniche/geomeccaniche di particolare interesse ai fini progettuali.

3.5.4.1 Rilievo geologico di dettaglio

Il rilievo geologico, che deve essere originale, 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 relativa

3.5.4.2 Rilievo geomorfologico di dettaglio

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 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.

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 particolare riferimento all'identificazione di quelle situazioni di dissesto idrogeologico in atto capaci di condizionare la funzionalità e la stabilità delle opera in progetto.

3.5.4.3 Rilievo idrogeologico di dettaglio

Lo studio idrogeologico deve prendere 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.

3.5.4.4 Rilievo di sorgenti e dei pozzi

Il censimento dei punti d'acqua si esegue a supporto dello studio idrogeologico ed ha lo scopo di individuare le emergenze idriche quali sorgenti e pozzi che concorrono a definire il modello di scorrimento delle acque sotterranee.

Per ciascuna sorgente dovranno essere rilevati i seguenti elementi:

- nome e numero identificativo;
- data del rilievo;
- ubicazione (comune, località, riferimento cartografia IGM, bacino idrografico, coordinate geografiche);
- caratteristiche dell'emergenza (quota, portata di deflusso, ammasso roccioso in affioramento, tipo di sorgente);
- caratteristiche chimico-fisiche (temperatura, pH, conducibilità);
- sezione geologica dell'emergenza

Per ciascun pozzo dovranno essere rilevati i seguenti elementi:

- nome e numero identificativo;
- data del rilievo;
- ubicazione (comune, località, riferimento cartografia IGM, bacino idrografico, coordinate geografiche);
- caratteristiche del pozzo (tipo di falda, quota bocca foro, profondità pozzo, quota livello statico, numero e posizione dei tratti finestrati, quota pompa, quota livello dinamico, portata media di esercizio, durata giornaliera dell'emungimento);
- caratteristiche chimico-fisiche (temperatura, pH, conducibilità);
- stratigrafia del pozzo.

3.5.4.5 Rilievo litologico-tecnico di dettaglio

Il rilievo litologico-tecnico 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.

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

- 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)

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, questi 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 Ferrovie.

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 prelievo 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.

3.5.4.6 Rilievo geologico-tecnico di terreni entro scavi esplorativi superficiali

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;

- rilievo speditivo delle caratteristiche geotecniche/geomeccaniche.

A corredo dell'esame geologico tecnico dello scavo esplorativo, dovrà essere consegnata alle Ferrovie 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.

3.5.4.7 Rilievo geostrutturale

Il rilievo geostrutturale permette di acquisire mediante misure in sito su fronti di scavo o pareti naturali gli elementi relativi alle caratteristiche geomeccaniche di un ammasso roccioso, inteso come complesso costituito dalla matrice rocciosa e dai piani di discontinuità, al fine di classificarlo mediante indici di qualità.

L'attrezzatura per l'esecuzione del rilievo prevede:

- bussola geologica per le misure di orientazione delle discontinuità nello spazio;
- nastri misuratori e bindelle metrate;
- martello di Schmidt (sclerometro);
- profilometro per la misura della rugosità (pettine di Barton);
- disco (diametro 30 cm) per l'appoggio della bussola;
- point load strength tester.

Le esecuzione del rilievo deve essere conforme alle prescrizioni dell'ISRM richiamate nei Riferimenti, alle quali si rimanda direttamente per quanto non espressamente precisato nel seguito.

Il rilievo si eseguirà materializzando sul fronte da rilevare una linea, della maggior lunghezza possibile, effettuando le misure in corrispondenza dei punti d'intersezione dei piani con la traccia dello stendimento, annotandone la progressiva dall'origine dello stendimento, ma considerando anche tutti gli elementi non direttamente intersecanti la linea ma vicini ed idealmente prolungabili fino all'intersezione.

Si dovranno eseguire stendimenti di misura fra loro tendenzialmente ortogonali, in modo da descrivere compiutamente l'ammasso in senso realisticamente tridimensionale.

Per ciascuna stazione di misura, il numero di stendimenti da eseguire sarà quello necessario per la perfetta caratterizzazione dell'ammasso; il numero e la posizione degli stendimenti in ciascuna stazione di misura dovrà essere preventivamente concordata con ferrovie.

Ogni stazione di misura dovrà essere tale che le analisi effettuate risultino rappresentative di tutta la massa rocciosa oggetto di studio.

Il fronte rilevato dovrà essere accuratamente descritto con il corredo di fotografie (dove saranno visibili le tracce degli stendimenti) e schizzi, precisando dettagliate informazioni sulla litologia, sulle facies, sugli elementi strutturali visibili alla scala dell'affioramento, sulla presenza di acqua e su quanti altri elementi possano concorrere alla comprensione delle caratteristiche geologiche e geomeccaniche d'insieme dell'ammasso roccioso entro il quale sono state realizzate le misure.

Il rilievo lungo ciascuna linea deve definire quanto segue:

- Caratteristiche litologiche: genesi del litotipo, litologia e caratteristiche petrografiche macroscopiche, grado e tipo di cementazione o compattezza, grado di alterazione, colore, assetto generale dell'ammasso come individuabile a scala del fronte;
- Caratteristiche geostrutturali: inclinazione dei piani di discontinuità sull'orizzontale, immersione o azimut della linea di massima pendenza giacente sul piano di discontinuità;
- Caratteristiche geomeccaniche: classificazione dei diversi tipi di discontinuità, suddivisi in discontinuità di strato, di scistosità, di faglia, di frattura. Dovranno essere definite inoltre le caratteristiche dei piani, precisando frequenza, spaziatura, lunghezza, persistenza percentuale rispetto all'affioramento, apertura, continuità di apertura in percentuale rispetto alla lunghezza, tipo di terminazione, distanza della terminazione della traccia, scabrezza (JRC, Joint Roughness Coefficient), ondulazione, resistenza della parete del giunto (JCS, Joint Compressive Wall Strength), tipo, granulometria, origine, grado di saturazione e di consistenza del materiale di riempimento, che può anche essere campionato per eventuali prove di laboratorio. La scabrezza (JRC) sarà valutata numericamente con il pettine di Barton. La resistenza della parete del giunto (JCS) sarà stimata con il martello di Schmidt mentre la resistenza della roccia intatta sarà stimata con il point load strength tester. Dovrà essere stimato l'indice RQD espresso come numero di giunti per unità di volume. Il volume roccioso unitario dovrà essere determinato dimensionalmente e graficamente.
- Condizioni idriche: ritenzione idrica e venute d'acqua; nel caso di scavi in sotterraneo, queste condizioni devono essere valutate in corrispondenza degli ultimi 8-10 m di scavo
- Osservazioni: distacchi gravitativi (ubicazione, geometria e volumi), interventi di consolidamento e contenimento presenti.

Tutti i dati rilevati dovranno essere raccolti sotto forma tabellare.

Le misure di orientazione delle discontinuità dovranno essere elaborate graficamente mediante:

- proiezione equatoriale equiarea di Lambert (nota anche come reticolo di Schmidt);
- proiezione polare equiarea.

L'elaborazione successiva dovrà consentire l'individuazione delle principali famiglie di discontinuità e dovrà essere eseguita ricavando le zone di maggior densità di poli per unità di area definendo inoltre il grado di densità relativo ed assoluto per ogni famiglia individuata.

L'ammasso roccioso dovrà, inoltre, essere classificato utilizzando i più comuni sistemi di classificazione quali quello di Bieniawski, di Barton, di Hoek o altri concordati preventivamente con le Ferrovie.

3.5.4.8 Studio di Analisi di Risposta Sismica Locale

Lo studio dovrà permettere l'implementazione del modello geologico geofisico propedeutico alla definizione del profilo sismostratigrafico sulla base dei risultati di specifiche indagini geofisiche e geotecniche, queste ultime in particolare atte ad indagare il comportamento del terreno nel campo delle medie e grandi deformazioni. Lo studio deve prevedere l'estrazione degli accelerogrammi naturali spettro compatibili con le strutture sismogenetiche locali costituenti il segnale di ingresso al sito, coerentemente con quanto prescritto nel paragrafo 3.2.3.6 delle NTC '08 (Norme Tecniche per le Costruzioni). L'analisi di risposta sismica locale verrà eseguita in condizioni monodimensionali tramite software specialistico di comprovata validità, eventuali

effetti dovuti alle variazioni laterali della situazione geologica e morfologica sui fenomeni di amplificazione sismica locale verranno analizzati mediante opportune analisi bidimensionali coerentemente con il paragrafo 7.11.3 e C7.11.3.1 delle NTC '08.

3.5.4.9 Documentazione da consegnare

RELAZIONE GEOLOGICA

La relazione dovrà contenere tutte le informazioni e i dati geologico-tecnici che consentano di individuare i criteri di progetto applicabili nonché i parametri e le modalità esecutive più appropriate al caso in esame con particolare riguardo a:

- definizione dell'assetto geologico-strutturale;
- modello geologico di riferimento;
- caratterizzazione litologico-tecnica degli ammassi e determinazione di massima delle caratteristiche geomeccaniche e geotecniche degli ammassi e dei terreni indagati;
- individuazione della storia tensionale degli ammassi indagati e dello stato tensionale attuale
- categorie di sottosuolo e topografiche, accelerazione sismica di riferimento, fattori di amplificazione e spettro di risposta elastico

La relazione geologica dovrà inoltre evidenziare le eventuali problematiche tecniche connesse all'interazione tra ambiente fisico e opera ferroviaria, analizzando 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, geomorfologico, idrogeologico e geotecnico/geomeccanico. Inoltre la relazione geologica dovrà contenere una valutazione della pericolosità geologica riferita agli interventi previsti nell'area in esame ed in relazione alla sismicità dovranno anche essere valutati gli aspetti sismici locali in congruenza ai contenuti del DM 14/1/08.

RELAZIONE GEOMORFOLOGICA

La relazione deve contenere i risultati dello studio e dei rilievi svolti individuando l'assetto orografico, il reticolo idrografico, le condizioni climatiche, gli aspetti morfologici e morfometrici, i dati litologici e tettonici e deve descrivere con particolare riguardo il quadro morfogenetico e morfoevolutivo dell'area.

RELAZIONE IDROGEOLOGICA

La relazione riporterà tutti i risultati dello studio e dei rilievi svolti e descriverà in modo compiuto l'idrologia di superficie, l'idrologia sotterranea (emergenza di acque sotterranee, caratteristiche degli acquiferi, caratteristiche idrodinamiche, caratteristiche idrochimiche), i complessi idrogeologici distinti in funzione del loro grado di permeabilità relativa, nonché le opere artificiali e le aree carsiche che interessano l'area in esame.

RELAZIONE LITOLOGICO-TECNICA

La relazione riporterà tutti i risultati dello studio e dei rilievi svolti e descriverà in modo compiuto le caratteristiche geomeccaniche e/o geotecniche dei litotipi riconosciuti nell'area di studio.

CARTA GEOLOGICA

L'elaborato cartografico geologico deve contenere tutte le informazioni relative alle unità litostratigrafiche riconosciute ed all'assetto tettonico generale. Deve essere anche 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.

CARTA GEOMORFOLOGICA

L'elaborato cartografico deve riportare tutte le evidenze geomorfologiche relative a morfogenesi di versante, fluviale, costiera, antropica, rilevabili e cartografabili alla scala di rappresentazione.

CARTA IDROGEOLOGICA

L'elaborato cartografico deve riportare tutte le informazioni idrogeologiche desunte dagli studi e dai rilievi (cartografabili alla scala di rappresentazione), in particolare i terreni saranno distinti in base alla loro permeabilità efficace, conterrà indicazioni su aree di concentrazione superficiale di acqua o a drenaggio difficoltoso, i punti d'acqua superficiali (sorgenti e pozzi), le linee di deflusso superficiale e profondo, le linee isofreatiche, ecc..

CARTA LITOLOGICO-TECNICA

Elaborato ad indirizzo geotecnico-geomeccanico con legenda e simbolismi da concordare con le Ferrovie.

PLANIMETRIA DI UBICAZIONE

- Planimetria della zona riportante l'ubicazione esatta delle stazioni di misura geostrutturale;
- Planimetria della zona riportante l'ubicazione esatta di tutti i punti d'acqua censiti, pozzi, sorgenti, ecc..

SEZIONI GEOLOGICHE

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.

RAPPRESENTAZIONE GRAFICA DELLE DISCONTINUITA'

Rappresentazione grafica di tutte le discontinuità rilevate mediante proiezione polare equiarea, aree di isodensità delle direzioni.

RAPPRESENTAZIONE CICLOGRAFICA DELLE DISCONTINUITA'

Rappresentazione ciclografica mediante poli e grandi cerchi dell'orientazione delle famiglie di discontinuità e del fronte rilevato.

ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

La relazione riporterà tutti i risultati dello studio dell'analisi della risposta simica locale, presentando sia i parametri di input che di output delle analisi di risposta sismica locale. In particolare dovranno essere motivati e rappresentati sia in formato grafico che tabellare i seguenti parametri di input:

a) definizione scelta progettuale (Vn, Cu, Stati Limite) ed ubicazione del sito,

b) determinazione dell'accelerazione massima di riferimento,

c) parametri di disaggregazione,

d) modalità di estrazione degli input sismici e loro rappresentazione,

e) indicazione del codice utilizzato e del fattore di scala medio finale,

f) indicazione della sismostratigrafia utilizzata nell'analisi (vs, spessori, densità e tipologia materiali),

g) indicazione del tipo di software e certificazione del grado di qualità in output dell'analisi con l'indicazione dell'errore residuo.

Dovranno essere forniti i seguenti parametri di output rappresentati sia in formato grafico che tabellare: distribuzione con la profondità dei valori massimi di accelerazione:

a) deformazione tangenziale e tensione tangenziale,

b) distribuzione con la profondità del modulo di rigidezza a taglio e del rapporto di smorzamento mobilitato,

c) storie temporali di accelerazione,

d) velocità e spostamento calcolate a piano campagna,

e) spettri elastici di risposta in accelerazione e spostamento calcolati a piano campagna.

Sarà inoltre necessario fornire gli spettri di risposta elastici per tutti gli stati limite (SLO,SLD,SLV,SLC), rappresentando lo spettro di input ed il confronto con l'approccio semplificato di normativa, e gli spettri normalizzati.

SCHEDE TECNICHE

- Schede tecniche dei terreni e degli ammassi rocciosi riportanti i dati desunti da prove di laboratorio o da misure geostrutturali su punti o aree campione, la cui redazione dovrà essere preventivamente autorizzata dalle Ferrovie;
- Schede tecniche del rilievo geostrutturale: le schede devono essere redatta per ciascuna stazione, con le indicazioni dei dati rilevati e le classificazioni geomeccaniche secondo indicazione delle Ferrovie;
- Schede dei punti d'acqua: schede di tutti i punti d'acqua censiti, pozzi, sorgenti, ecc., con indicazione dell'ubicazione cartografica e delle coordinate GPS.

SCHEDE BIBLIOGRAFICHE

Con i riferimenti di tutto il materiale consultato e della relativa reperibilità.

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Documentazione fotografica dei punti di misura o di prelievo in campagna o dei punti d'acqua rilevati in campagna o del fronte rilevato, con i necessari riferimenti descrittivi per l'univoca correlazione alle schede tecniche relative.

Riferimenti normativi:

- 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
- 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
- Dlgs n° 163 del 12/04/2006 e s.m.i.

- DPR n° 207 del 05/10/2010
- Norme Tecniche per le Costruzioni - DM del 14/01/2008
- Circolare NTC n°617 del 2/02/2009

3.5.5 GEOMORFOLOGIA COSTIERA E FLUVIALE

3.5.5.1 Rilievo batimetrico per profili della spiaggia sommersa e per sezioni trasversali dell'alveo fluviale.

Il rilievo batimetrico di norma si esegue per definire e controllare nel tempo e nello spazio le modifiche dell'assetto morfologico del fondo marino in prossimità della costa o del fondo alveo di una asta fluviale in corrispondenza di opere di attraversamento.

A. Attrezzatura

In funzione del tipo di rilievo adottato dovrà essere disponibile, di norma, la seguente attrezzatura:

- ecoscandaglio ad alta risoluzione, a registrazione continua su carta e/o su supporto digitale, frequenza 200 Khz, trasduttore a fascio conico di circa 9° ed accuratezza di circa ± 3 cm in 20 m di profondità;
- sistema satellitare differenziale con tecnologia Real Time Kinematics (DGPS-RTK); con accuratezza dinamica migliore di 2 cm, completo di ponte radio, computer palmare per acquisizione dati GIS e software di post processing;
- software di navigazione collegato sia al GPS differenziale sia all'ecoscandaglio per l'acquisizione contemporanea delle informazioni di posizione GPS e di quelle di profondità dell'ecoscandaglio;
- stazione topografica integrale, con teodolite che consenta una precisione angolare non superiore ai due secondi centesimali e distanziometro elettronico di precisione non inferiore a ± 3 mm + 2 ppm (parti per milione);
- radio per comunicazioni;
- asta centimetrata munita di piastra di fondo;
- cavi in materiale inestensibile graduato al decimetro;
- cavi di ancoraggio;
- battello/natante.

B. Modalità esecutive

Le tecniche di rilievo applicabili, in funzione delle condizioni operative dei siti di indagine, sono sostanzialmente di due tipi: 1) rilievo con ecoscandaglio; 2) rilievo con asta graduata.

B.1. Rilievo con ecoscandaglio

Il rilievo con ecoscandaglio, di norma, si adotta in corrispondenza di sezioni e profili agibili soltanto con imbarcazione.

L'ecoscandaglio deve essere installato su un battello attrezzato allo scopo e munito di radio ricetrasmittente con portata idonea al collegamento con gli operatori a terra e tutto quanto occorre per l'effettuazione di misure di profondità con l'approssimazione di più o meno 10 centimetri.

Prima di procedere ai rilievi, l'ecoscandaglio dovrà essere calibrato, posizionando a diverse profondità un "target" artificiale e ricavando i parametri corretti di immersione del trasduttore e di velocità del suono in acqua; nello scandaglio dovranno essere inseriti i valori dell'immersione del trasduttore e della velocità del suono che sono presi in considerazione nella registrazione su carta e nei dati in uscita.

Le coordinate planimetriche dei punti rilevati dovranno essere rilevate con sistema GPS-RTK oppure con misure distanziometriche eseguite con geodimetro elettronico che consenta la lettura di distanze al millimetro, stazionato sul picchetto di riferimento a terra e collegate in tempo reale all'ecoscandaglio mediante un programma idrografico su personal computer.

Il rilievo batimetrico del fondale marino sarà eseguito lungo profili, ubicati e definiti preventivamente dalle Ferrovie, di norma disposti perpendicolarmente alla linea di spiaggia e spinti fino all'isobata 20 m se la costa è bassa, fino all'isobata 30 se la costa è alta e comunque non oltre i 500 m dalla linea di costa.

Nelle sezioni di aste fluviali il rilievo batimetrico sarà eseguito lungo allineamenti trasversali al corso d'acqua, isolati o multipli.

L'interdistanza tra le diverse sezioni dovrà essere concordata e preventivamente autorizzata dalle Ferrovie.

Per ogni sezione/profilo si dovrà:

- effettuare la misura del livello idrico con livellazioni di precisione rispetto ad un punto noto sulla terraferma, all'inizio e alla fine delle operazioni, con annotamento della data e dell'ora di misurazione;
- eseguire almeno una fotografia delle operazioni di misura nella quale possibilmente siano visibili punti di riferimento;
- determinare le coordinate plano-altimetriche dei punti estremi, che dovranno essere raccordati ai picchetti della corrispondente sezione topografica;
- effettuare il rilievo dei punti con ecoscandaglio, con densità da concordare con le Ferrovie;
- eseguire i necessari calcoli;
- effettuare la restituzione delle coordinate (progressive e quote) sotto forma di tabella Excel;
- effettuare restituzione grafica e disegno a scala adeguata secondo quanto stabilito dalle Ferrovie.

Nel caso di rilievo GPS-RTK si dovrà materializzare un terzo punto, possibilmente a squadra, con distanza adeguata per la calibrazione del GPS in doppia frequenza con metodologia RTK. Dovranno essere forniti i valori dei residui plano-altimetrici della calibrazione.

Dovrà essere inoltre consegnata copia del piano quotato risultante dal rilievo batimetrico (sia su carta che su supporto informatico in formato DXF).

B.2. Rilievo con asta graduata

Il rilievo con asta graduata viene adottato di norma in quelle sezioni di aste fluviali che risultano agibili a guado.

La modalità esecutiva è la seguente:

- tesatura di un cavo in dacron o altro materiale inestensibile, graduato al decimetro, nelle sezioni trasversali all'asta fluviale;
- rilievo delle profondità mediante asta centimetrata in corrispondenza delle progressive individuate nel cavo graduato;
- misura del livello idrometrico ad inizio e fine, con eventuali infittimenti intermedi in caso di variazione;
- verifica della larghezza della sezione bagnata mediante strumento topografico, compensando in base a questo riscontro le distanze progressive rilevate sul cavo graduato.

I punti estremi della sezione dovranno essere rilevati plano-altimetricamente secondo le modalità sopra riportate.

Tutti i profili batimetrici dovranno essere proseguiti a terra con un rilievo celerimetrico di dettaglio in modo da realizzare un profilo unico.

La rilevazione dei punti dovrà comprendere: l'acquisizione, l' elaborazione, l'interpretazione e la restituzione grafica dei dati ed il rilievo plano-altimetrico dei punti estremi di riferimento.

Nel caso dei rilievi lungo assi-fluviali interessate da opere di attraversamento, dovranno essere eseguiti i rilievi dei punti geometrici salienti dell'opera d'arte e, se richiesto dalle Ferrovie, le sezioni d'alveo in corrispondenza dell'opera d'arte stessa.

Documenti da consegnare.

Al completamento dello studio dovranno essere consegnati i seguenti elaborati:

a) Relazione generale e d'interpretazione dei rilievi;
b) Planimetria con l'ubicazione dei profili e/o delle sezioni rilevate, in scala da concordare con le Ferrovie;
c) Profili batimetrici-celerimetrici, in scala da concordare con le Ferrovie;
d) Strisciata di registrazione dell'ecoscandaglio;
e) Carta delle isobate in scala da concordare con le Ferrovie;
f) Carta della poligonale di collegamento dei punti estremi e di riferimento con l'indicazione delle relative coordinate e dell'azimut;
g) Libretti di campagna in originale con il dettaglio di tutti i punti rilevati.

3.6 PROSPEZIONI GEOFISICHE

La prospezione geofisica è una tecnica di indagine non distruttiva del sottosuolo, che consiste nella misurazione, tramite strumentazione specifica di alcune proprietà fisiche del terreno che possono rivelarne la struttura, la presenza di oggetti sepolti ecc.. Si differenziano in due grandi categorie: indagini passive e indagini attive; le prime si effettuano tramite delle apposite strumentazioni che rilevano eventuali anomalie rispetto all'ambiente circostante; le seconde tramite l'attivazione nel sottosuolo di diverse forme di energia che permettono di studiarne le caratteristiche.

3.6.1 GEOELETTRICA

3.6.1.1 Sondaggi geoelettrici verticali.

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 da utilizzare 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 1mA ÷ 2 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 (preferibilmente fino a 32) ad alto isolamento, con specifica guaina di protezione esistente 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 (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 ecc. 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 metri) 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 elettrodici 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 ΔV.

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 bilogaritmica.

Nel caso fossero disponibili risultati di sondaggi meccanici questi dovranno essere presi a riferimento per la taratura delle indagini geolettriche.

L'ubicazione degli stendimenti, la distanza interelettrodica, funzione della profondità esplorabile, e la frequenza delle misure dovranno essere preventivamente autorizzate dalle Ferrovie.

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;
- la determinazione dello scarto quadratico medio tra i dati sperimentali e i dati calcolati dal modello di resistività;
- I limiti di equivalenza della soluzione.

Documenti da consegnare.

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 plano-altimetrica degli stendimenti eseguiti con indicazione della posizione di sondaggi di taratura eventualmente effettuati;
c) Diagrammi di resistività di tutti i S.E.V. eseguiti;
d) Sezioni elettriche interpretative, in scala appropriata alla necessità di rappresentazione dei dettagli rilevati, recante l'indicazione dei valori di resistività dei vari livelli interessati;
e) Copia dei libretti di campagna originali.

3.6.1.2 Prospezione geofisica con il metodo elettrico per l'esecuzione di profili di resistività

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 1mA÷2 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 (preferibilmente fino a 32 conduttori) 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 elettrodici di Wenner, di Schlumberger, polo-polo, polo-dipolo dipolo-dipolo e in contesti particolari si potranno utilizzare configurazioni elettrodiche dipolo-dipolo.

La configurazione del quadripolo dovrà essere preventivamente concordata con le Ferrovie.

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 esplorata, e la frequenza delle misure dovranno essere preventivamente approvate dalle Ferrovie.

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 ΔV.

La determinazione della distanza interelettrodica 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 interelettrodica.

Documenti da consegnare.

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 originali.

3.6.1.3 Prospezione geofisica con il metodo elettrico, con metodologia tomografica

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 (dispositivo 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 georesistivimetro 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, il georesistivimetro dovrà eseguire ripetuti cicli di misura memorizzando resistività, differenza di potenziale, intensità e deviazione standard;
- 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 o rame del tipo "smart electrodes", dotati di una elettronica interna che ne consenta l'utilizzo sia come elettrodi di corrente che di potenziale;
- 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 ΔV connessa alla distribuzione nel sottosuolo di una corrente elettrica I immessa in una diversa coppia di elettrodi, detti AB.

Si otterrà quindi un valore di resistività apparente pari a:

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

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 ρ_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 elettrodici di Wenner o di Schlumberger (Figura 3.6.1.3-1) o in casi particolari dispositivi dipolo-dipolo e polo-dipolo.

Nel dispositivo Wenner (Figura 3.6.1.3-1, a)) 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 (Figura 3.6.1.3-1, b)) 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.

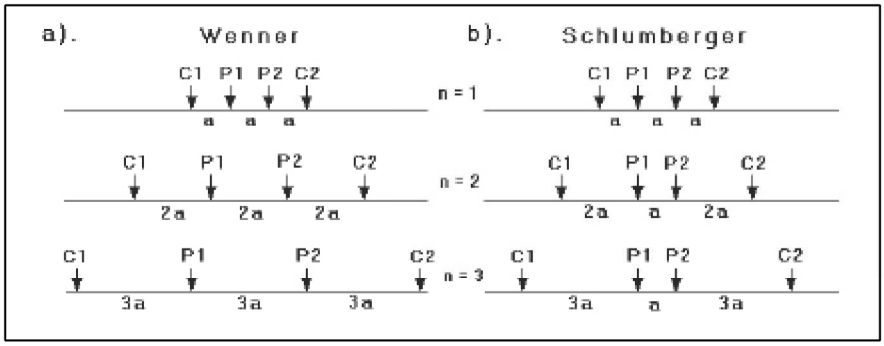


Figura 3.6.1.3-1

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 (Figura 3.6.1.3-2) 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 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.

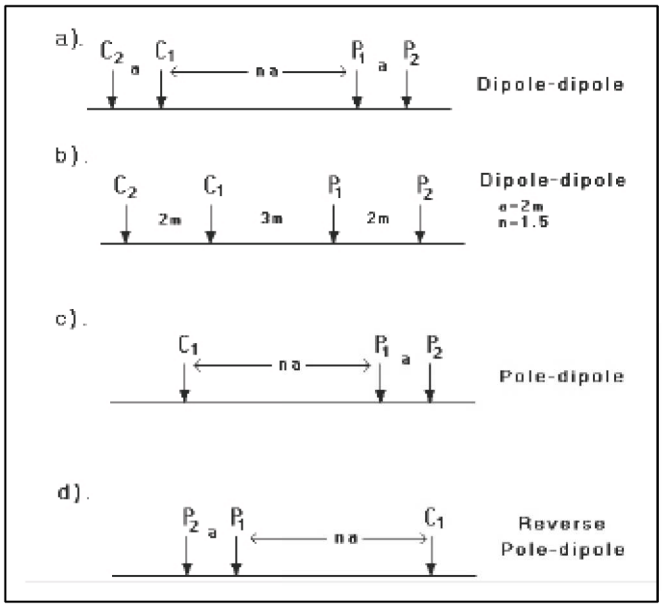


Figura 3.6.1.3-2

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

La distanza interelettrodica sarà definita sulla base delle profondità da raggiungere e delle dimensioni dell'obiettivo di indagine e dovrà comunque essere preventivamente concordata con le Ferrovie.

Per incrementare il dettaglio della misura ed ottenere il ricoprimento tra due linee contigue si farà ricorso a tecniche di sovrapposizione di linee consecutive (roll-along) mediante spostamenti successivi con passo regolare di una porzione (1/3 o 1/4) dello stendimento iniziale.

Per la definizione delle modalità esecutive più corrette della prospezione potranno essere eseguiti alcuni sondaggi elettrici verticali per la taratura delle caratteristiche geoelettriche del sottosuolo.

L'elaborazione dei dati dovrà permettere:

- la ricostruzione di "pseudosezioni" di resistività mediante l'impiego di software di contouring;
- il calcolo dei valori di resistività vera tramite inversione bidimensionale e lo sviluppo di un adeguato modello di distribuzione della resistività del sottosuolo; il software di inversione dovrà essere in grado di applicare l'eventuale correzione topografica.

Documenti da consegnare:

a) 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;
b) Carta con l'ubicazione planimetrica dei punti di misura, delle linee e degli eventuali sondaggi di taratura eseguiti, in scala da concordare con le Ferrovie;
c) Tabelle con i valori di voltaggio, corrente, deviazione standard e resistività apparente per ogni singola misura;
d) Pseudosezioni di resistività in scala adeguata, con i punti di misura, scala cromatica di riferimento (ohm-m) e relativa legenda orizzontale interpretativa contenente i valori della resistività;
e) Risultati dell'inversione e modellizzazione dei dati unitamente al completo database utilizzato per la valutazione geoelettrica ed il calcolo della distribuzione della resistività;

f) Copia dei libretti di campagna originali.

3.6 1.4 Carotaggio geofisico con il metodo elettrico in foro di sondaggio

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

La strumentazione è 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 di sostentamento delle pareti del foro stesso.

La corrente viene generata tra l'elettrodo B e l'elettrodo A mentre tra gli elettrodi M e N si misura la tensione risultante. A seconda della distanza tra gli elettrodi A e M si possono avere diverse configurazioni:

- normale-corta (distanza A-M=16" pari a 0,41 m);
- normale-lunga (distanza A-M=64" pari a 1,62 m);
- laterale (distanza A-M=18'8" pari a 5,70 m).

Nelle configurazioni di tipo "normale" i due elettrodi B e N saranno posizionati in prossimità della bocca foro oppure all'interno del foro a lunga distanza tra di loro. La fascia di terreno all'intorno del foro interessata dalla prospezione è pari a circa due volte la distanza A-M ed è inversamente proporzionale al diametro del foro.

Nella configurazione di tipo "laterale" gli elettrodi M e N sono all'interno del foro ad una distanza di 81 cm ed il loro baricentro è posto a distanza di 5,70 m dall'elettrodo di corrente più vicino. La profondità di indagine all'intorno del foro è praticamente pari alla distanza A-M.

La distanza tra gli elettrodi e la configurazione di lavoro, dovrà essere preventivamente approvata dalle Ferrovie.

Le letture dei valori di resistività lungo il foro dovranno essere continue.

La configurazione normale-corta permette l'evidenziazione anche di sottili livelli conduttori intercalati ed in genere definisce la resistività nell'immediato intorno delle pareti del foro in un'area influenzata dalla presenza del fluido nel foro stesso.

La configurazione normale-lunga misura una resistività intermedia che teoricamente permette il calcolo della resistività della fascia influenzata dal fluido nel foro e la stima della resistività del terreno naturale.

La configurazione laterale permette, in presenza di orizzonti omogenei, di misurare la reale resistività del terreno.

Di norma è consigliabile, quindi, eseguire il carotaggio elettrico utilizzando almeno due configurazioni, accoppiando due tipologie d'indagine, ad esempio: normale-corta e laterale o normale-lunga e laterale.

Documenti da consegnare.

a) Relazione illustrativa dell'attrezzatura e della metodologia adottata con una nota di commento e di interpretazione dei risultati ottenuti;
b) Diagrafia del carotaggio effettuato;
c) Copia dei libretti di campagna originali.

3.6.2 GEOGRAVIMETRIA

3.6.2.1 Prospezione geo-gravimetrica

La gravimetria è una metodologia di indagine geofisica che misura l'entità di variazione dell'accelerazione di gravità da un punto all'altro dovuta a variazioni laterali di densità nel sottosuolo. I valori ottenuti sono funzione della densità e quindi della natura dei materiali ma anche del grado di fratturazione, compattezza, ecc.

A. Strumentazione

Per l'esecuzione della prospezione geo-gravimetrica l'attrezzatura minima da utilizzare è:

- gravimetro astatico (tipo Lacoste&Romberg Modello D), ad alta precisione, con un campo di lettura di almeno 200 mGal e con una sensibilità dell'ordine di 1 μgal;
- strumenti topografici (GPS, tacheometro, teodolite ecc.)

B. Modalità esecutive

Preliminarmente all'esecuzione dell'indagine in campagna deve essere acquisita la seguente documentazione:

- cartografia di base in scala adeguata;
- monografie dei caposaldi gravimetrici della rete nazionale;
- monografie dei caposaldi topografici della rete nazionale.

Le misure gravimetriche sono di tipo relativo in quanto devono essere riferite ad una stazione base (caposaldo gravimetrico) 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.

L'indagine può essere effettuata sia su punti allineati lungo direttrici lineari sia su punti disposti a maglia, in genere quadrata. L'ubicazione e la densità dei punti di misura dovranno essere definiti in funzione della profondità d'indagine e del dettaglio richiesto ed essere preventivamente approvata dalle Ferrovie.

Ogni punto, materializzato da un picchetto, verrà posizionato topograficamente (per rilievi gravimetrici di dettaglio occorre una tolleranza minima di 1÷2 cm per le quote e di 0,2 m per la posizione planimetrica) e riferito ad una poligonale di base chiusa. Una volta definita la maglia o l'allineamento dei punti di misura, si dovrà fissare la posizione ed il numero di stazioni di misura da prendere come riferimento per la correzione giornaliera della deriva strumentale.

La stazione di misura di riferimento dovrà essere rioccupata per la lettura con una frequenza da concordare preventivamente con le Ferrovie ma che, in linea generale, non dovrà essere superiore ad una lettura ogni 60÷90 minuti circa.

La deriva potrà essere accettabile per valori non superiori a 10 microgal per ora; nel caso si misuri un valore di deriva anomalo o una discrepanza superiore ai 10 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.

I risultati ottenuti in campagna dovranno essere elaborati applicando le necessarie correzioni (costante di taratura dello strumento, deriva strumentale, marea lunisolare, latitudine, Faye, Bouguer, topografica, regionale) e rappresentati sia in forma tabellare sia in formato grafica (profilo, carta).

Documenti da consegnare:

a) Relazione conclusiva con indicazione della strumentazione impiegata e delle operazioni eseguite, con commento ed interpretazione dei risultati;
b) Planimetria con l'ubicazione di dettaglio dei punti di misura in scala da concordare con le Ferrovie;
c) Profilo delle anomalie gravimetriche in scala da concordare con le Ferrovie;
d) Carta gravimetrica delle isoanomalie di Bouguer in scala da concordare con le Ferrovie;
e) Tabelle dei dati gravimetrici di campagna;
f) Tabelle dei dati topografici di campagna.

3.6.3 GEORADAR

3.6.3.1 Rilievo elettromagnetico con metodo radar

La prospezione georadar si basa sulla misura ed interpretazione dei fenomeni che subisce un'onda elettromagnetica nel momento in cui essa, attraversando un materiale con una determinata costante dielettrica relativa, incontra la superficie di un altro materiale con costante dielettrica relativa diversa da quella del mezzo in cui si sta diffondendo (scattering).

La risoluzione e la profondità di indagine sono funzione delle caratteristiche dielettriche dei mezzi attraversati, della frequenza delle onde emesse dall'antenna e della potenza del trasmettitore.

Il metodo risulta adatto per individuare forti contrasti dielettrici, ad esempio fra murature, cavità, metalli, sottoservizi, ecc., ed il terreno circostante.

A. Strumentazione

L'attrezzatura di base deve comprendere:

- una unità georadar centrale di comando, controllo ed amplificazione, in grado di operare con almeno due canali, e dotato di un registratore magnetico digitale, di un monitor e di una stampante entrambe a colori;
- antenne, dotate di amplificatore di potenza, con frequenza compresa tra 80 e 1500 MHz;
- cavo multipolare di collegamento tra l'unità georadar e l'antenna.

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 ed elaborazione dei dati

La prospezione si esegue spostando le antenne lungo la superficie da investigare o manualmente o per mezzo di veicoli. Il rilievo si esegue normalmente lungo profili isolati, paralleli o organizzati in maglie di dimensione idonea all'obiettivo della prospezione. 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 approvate dalle Ferrovie.

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 pari a 0,1 m per le quote ed a 0,2 m per la posizione planimetrica).

Preliminarmente all'esecuzione della prospezione dovrà essere indagato un breve tratto campione sul quale dovranno essere tarate le apparecchiature e saranno provate diverse configurazioni di impostazione (velocità

di passaggio, distanza sorgente-struttura, frequenza di campionamento, offset delle antenne, ecc.) per determinare la tecnica ottimale in relazione agli obiettivi dell'indagine.

La frequenza di campionamento deve essere 6÷10 volte superiore alla frequenza nominale dell'antenna. L'offset (distanza) delle antenne deve essere tale che le due antenne non risultino troppo vicine con conseguente distorsione del segnale ma neanche troppo lontane da produrre una diminuzione del rapporto segnale-rumore ricevuto. Si dovranno pertanto eseguire alcune prove con offset diversi, adottando la distanza tra antenne che fornisce il migliore risultato in termini di rapporto segnale-rumore. Di norma si assume che una distanza idonea sia pari ad almeno un paio di lunghezze d'onda

La penetrazione del segnale georadar nei vari terreni dipende essenzialmente dall'assorbimento del segnale nei mezzi indagati ed, in linea generale, si osserva che a parità di frequenza, la penetrazione risulta massima in terreni poco conduttivi e che a parità di terreni, la penetrazione risulta massima alle basse frequenze.

Inoltre dovrà essere possibile adottare uno schema di rilievo con più antenne, a diversa frequenza, per investigare contemporaneamente profondità diverse e con risoluzione differente in un unico passaggio.

Le antenne possono operare in configurazione "monostatica" (la stessa antenna georadar funziona come trasmittente e ricevente tramite un commutatore) o "bistatica" (antenne differenti funzionano rispettivamente da trasmittente e da ricevente).

Le tecniche di acquisizione sono due:

- singlefold: acquisizione a copertura singola in cui si illuminano una volta sola i punti del sottosuolo; è possibile sia con antenne monostatiche che con antenne bistatiche;
- multifold:acquisizione a copertura multipla in cui i punti del sottosuolo sono illuminati sotto diverse angolazioni; è possibile soltanto con antenne bistatiche.

Si può ottenere una copertura multipla operando secondo diverse modalità: energizzando direttamente il singolo punto con offset diversi, sommando profili con offset diverso o sommando acquisizioni Wide Angle Reflection Refraction, ottenute tenendo fissa l'antenna trasmittente e spostando la ricevente, ripetendo l'operazione con spostamenti costanti della sorgente.

Una volta acquisiti i dati grezzi è necessario effettuare una preelaborazione per eliminare le componenti di disturbo geometriche e/o radiometriche attraverso operazioni di filtraggio verticale (dominio del tempo) e di filtraggio orizzontale (dominio spaziale). Successivamente i dati grezzi ripuliti saranno elaborati applicando tecniche di guadagno per contrastare l'abbassamento del segnale con la profondità, tecniche di filtraggio dirette (taglia basso, taglia, alto passa banda) per cercare di incrementare il rapporto segnale/rumore attenuando le frequenze indesiderate e tecniche di filtraggi F-K per migliorare la coerenza laterale del segnale mediante l'attenuazione delle onde di disturbo laterali e dirette al suolo.

La parte conclusiva dell'elaborazione consisterà nell'analisi di velocità che sulla base della corretta conoscenza dell'andamento della funzione velocità dovrà permettere di definire l'esatta profondità delle varie discontinuità.

Documenti da consegnare

a) Relazione conclusiva con le indicazioni delle attrezzature impiegate, delle modalità esecutive dei rilievi e dei criteri di elaborazione adottati; tale relazione dovrà inoltre mettere in evidenza le caratteristiche dei materiali e la stratigrafia dei terreni investigati, il contatto terreno-struttura, la presenza di acque, fratture, cavità locali ecc.;
b) Rappresentazione plano-altimetrica 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) Radar-grammi di campagna, a diverse intensità cromatiche, con le distanze (m) in ascissa e i tempi di ascolto (ns) in ordinata;

d) Radar-grammi interpretati in funzione delle costanti dielettriche dei mezzi attraversati, con le distanze (m) in ascissa e i tempi di ascolto (ns) in ordinata e/o la profondità (m).

Riferimenti normativi:

- ASTM D 6432-99 Standard Guide for using the surface ground penetrating Radar method for subsurface investigation.

3.6.4 GEOSISMICA

3.6.4.1 Prospezione con metodo sismico a rifrazione

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. Strumentazione

L'attrezzatura per l'acquisizione dei dati dovrà avere le seguenti caratteristiche minime:

- sismografo con un minimo di n. 24 canali, di tipo digitale incrementale, dotato di capacità di campionamento di 0,05 - 0,1 - 0,2 - 0,5 msec, mille o più punti di campionamento per traccia sismica; 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.
- geofoni verticali con frequenza propria variabile tra 8-100 Hz per il rilievo delle onde di compressione;
- geofoni orizzontali con frequenza propria variabile tra 6-14 Hz per il rilievo delle onde di taglio;
- sistema di comunicazione e di trasmissione del "tempo zero" (time-break).
- sistema di energizzazione necessario a generare le onde sismiche, che potrà essere costituito da:
  - per onde P:
    - 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 ≥ 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);
  - per onde S:
    - massa battente (mazza da 10 kg) agente su un blocco di legno o calcestruzzo adeguatamente ancorato al terreno e posto nelle adiacenze della bocca foro. La forma del blocco deve essere tale da potere essere colpito lateralmente ad entrambe le estremità.

Altri dispositivi devono essere preventivamente approvati dalle Ferrovie.

B. Modalità esecutive ed elaborazione dei dati

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 Ferrovie.

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 ÷ 1/5 della lunghezza dei tiri sismici e per ottenere 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.

Per la sismica con acquisizione ordinaria, visto che l'interpretazione analitica 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 adottano spaziature di 1/2÷1/3 della profondità dell'obiettivo (es. spaziature di 5 m per indagini entro 10 m, spaziature di 10 m per indagini entro 20-50 m e spaziature di 20 m per indagini entro 100 m).

Per ciascun stendimento, costituito 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 + uno 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 il rilievo sismico interessi profondità superiori a circa 30 m i tiri non dovranno essere inferiori a sette (7) per ciascuna base sismica dei quali cinque (2 estremità+3) interni e due (2) esterni.

Nella sismica con acquisizione ordinaria l'elaborazione si potrà basare su metodi quali il GRM (Generalized Reciprocal Method) di Palmer e Lankston, il CRM (Common Reciprocal Methods) di Palmer; la scelta di ciascun metodo di interpretazione dovrà essere operata tenendo in debito conto la geometria del sottosuolo investigato e le problematiche di indagine.

Per la sismica con acquisizione tomografica, indicativamente la spaziatura può variare tra 1/4 ed 1/5 della profondità dell'obiettivo secondo lo schema di massima seguente:

- obiettivo a 10 m: spaziatura= 10/4(5) = 2,5(2,0) m
- obiettivo a 100 m: spaziatura= 100/4(5) = 25(20) m.

Per ciascun stendimento costituito da un numero minimo di 24 geofoni, i tiri dovranno essere eseguiti mediamente ogni 2÷3 geofoni oltre a quattro tiri esterni alla stesa per un totale minimo di dodici (12) tiri.

In entrambi i casi (sismica ordinaria o tomografica) non si dovrà superare 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.

I tiri estremi dovranno essere ubicati ad una distanza dal primo e dall'ultimo geofono pari alla metà della distanza intergeofonica utilizzata.

I tiri esterni, invece, saranno posizionati, compatibilmente con le condizioni logistico-morfologiche, ad una distanza pari alla semilunghezza della stesa sismica.

Eventuali diverse geometrie dei tiri devono essere preventivamente approvate dalle Ferrovie.

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).

Nella sismica con acquisizione tomografica i dati rilevati dovranno essere analizzati con modellazione anisotropica del sottosuolo utilizzando metodologie iterative di tipo RTC (Ray Tracing curvilinear) ed algoritmi di ricostruzione tomografica tipo ART (Algebric 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.

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:
α = 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 relazione 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 ecc.).

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.

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 ±0,5 cm, da riferirsi a capisaldi topografici chiaramente individuati sul terreno e riportati sulla carta topografica.

Documenti da consegnare

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 in termini di velocità delle onde e del fattore qualità se richiesto, alla scala che verrà stabilita dalle Ferrovie, 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 meccanici e/o misure geofisiche in foro eseguiti per taratura e/o controllo;
f) Sezioni Tomografiche con elaborazione a celle di velocità o isolinee, in termini di velocità delle onde sismiche, alla scala che verrà stabilità dalle Ferrovie.

Riferimenti normativi:

- ASTM D 5777-00. Standard guide for using the seismic refraction method for subsurface investigation.

3.6.4.2 Prospezione con metodo sismico a riflessione

La prospezione sismica a riflessione consiste nel generare impulsi acustici e registrare per mezzo dei geofoni le riflessioni delle onde di compressione causate da superfici di "discontinuità" all'interno del sottosuolo, dovute ad ammassi rocciosi con valori diversi di impedenza acustica. Con tale metodo geofisico è pertanto possibile ricostruire le caratteristiche geosismiche e geostrutturali degli ammassi mediante allineamenti isolati e consecutivi di geofoni e registrazioni multiple delle onde di pressione per ciascun stendimento di misura.

A. Strumentazione

L'attrezzatura 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, 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;
- geofoni verticali con frequenza propria variabile tra 25 e 100 Hz in funzione della profondità dell'obiettivo e della risoluzione verticale richiesta;
- geofoni orizzontali con frequenza propria variabile tra 25 e 100 Hz in funzione della risoluzione orizzontale richiesta.

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 in grado di fornire una velocità alla bocca pari a 400÷600 m/sec.

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" di solito vicino al primo geofono) 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 (gap di registrazione).

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

Normalmente la spaziatura ottimale è da considerarsi 1/40 ÷ 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 ÷ 1/25 per una copertura del 1200% (cioè shot su tutte le stazioni e registrazione su 24 canali).

In campagna si deve procedere nel modo seguente:

1) definizione del gap di registrazione espresso in metri che deve essere un multiplo intero della distanza intergeofonica.
2) posizionamento della sorgente di energia sul punto iniziale della prospezione.
3) posizionamento della linea sismica con il primo geofono posizionato alla distanza stabilita dal gap.
4) energizzazione nel punto stabilito e registrazione dello scoppio sui geofoni dello stendimento.
5) posizionamento della sorgente di energia in avanti di un valore pari alla distanza intergeofonica.

6) spostamento di tutti i geofoni della linea in avanti di una unità di distanza intergeofonica
7) energizzazione nel nuovo punto e registrazione dello scoppio sui geofoni dello stendimento.

Tale procedura si ripete fino a che non si è coperta tutta la linea da registrare; per facilitare l'operazione è ammesso l'utilizzo di "Roll Along" elettronico o meccanico.

Per esempio, nel caso di un allineamento di sismica a riflessione con lunghezza 1000 metri, distanza intergeofonica di 10 metri con una molteplicità di copertura del 1200% e registratore a 24 canali, una volta definito il gap (che supponiamo essere di 40 metri) si posiziona la sorgente di energia dopodiché si posa il primo geofono dopo 40 metri lungo la linea dieci metri dopo il secondo geofono e così via fino all'ultimo geofono dello stendimento che si troverà a 230 metri dal primo e a 270 metri dal punto di scoppio. È fondamentale mantenere queste distanze inalterate durante tutta la prospezione. Perciò per lo scoppio successivo è necessario traslare tutto il dispositivo di scoppio e di ricezione in avanti di una distanza intergeofonica (10 metri) tale operazione si deve realizzare fino alla realizzazione di 100 scoppi e conseguentemente 100 spostamenti in avanti dell'intera linea di ricezione.

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, con precisione di ±0,5 cm, comprendendo i geofoni ed i punti di energizzazione.

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

Considerando le attuali disponibilità tecniche di energizzazione le onde di taglio potranno essere rilevate in stendimenti con distanza intergeofonica massima fino a 2,5 m.

Documenti da consegnare.

a) 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;

b) Sismosezioni in ordinate dei tempi (ms) e in ascisse delle distanze (m) atte a configurare le situazioni geotettoniche primarie;
c) Sezioni sismostratigrafche in ordinate delle profondità (m) e in ascisse delle distanze (m) integrate con le indicazioni dei valori relativi ai parametri elastici dei terreni indagati.

3.6.4.3 Prospezione con tecnica Down-Hole

La prospezione sismica Down-Hole misura la velocità di propagazione delle onde sismiche di compressione (Vp) e di taglio (Vs) 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.

A. Strumentazione

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.

La sorgente di energia dovrà essere calibrata in funzione della natura e delle caratteristiche dei terreni interessati e che sono da considerarsi noti in quanto le misure geosismiche sono successive alla perforazione dei sondaggi entro i quali si eseguono.

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 e 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;
- geofono tri-direzionale con sensori ortogonali (di cui uno verticale e gli altri due orizzontali a 90° dal primo), con frequenza compresa tra 8 e 14 Hz, collegato ad un cavo metrato di sospensione; il geofono deve essere a contatto con il rivestimento per mezzo di un dispositivo di bloccaggio meccanico o pneumatico;
- sistema di comunicazione e di trasmissione del "tempo zero" (time break).
- dispositivo di energizzazione per la generazione di onde P ed onde S, in grado di generare onde elastiche ad alta frequenza ricche di energia, con forme d'onda ripetibili e direzionali cioè con la possibilità di ottenere prevalentemente onde di compressione e/o di taglio polarizzate su piani orizzontali (ed eventualmente anche verticali):
  - per onde P:
    - 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 ≥ 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);
  - per onde S:
    - massa battente (mazza da 10 kg) agente su un blocco di legno o calcestruzzo adeguatamente ancorato al terreno e posto nelle adiacenze della bocca foro. La forma del blocco deve essere tale da potere essere colpito lateralmente ad entrambe le estremità.

Altri dispositivi dovranno essere preventivamente approvati dalle Ferrovie.

B. Modalità esecutive

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:
1) controllare che i tubi non presentino lesioni o schiacciamenti dovuti al trasporto con particolare riferimento alle parti terminali;
2) controllare che le estremità dei tubi non presentino irregolarità che possano compromettere il loro buon accoppiamento;
3) verificare l'efficienza del tubo per l'iniezione della miscela di cementazione da applicare all'esterno della colonna;
4) 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;
5) 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 spessore ≥ 3 mm e diametro interno ≥ 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:
1) pulizia accurata della perforazione con acqua pulita;
2) pre-assemblaggio dei tubi in spezzoni di lunghezza in genere pari a 6 m con fasciatura delle giunzioni con nastro autovulcanizzante;
3) montaggio sul primo spezzone del tappo di fondo e fissaggio del tubo per l'iniezione;
4) inserimento del primo tubo predisposto nella perforazione; in presenza di terreni sotto falda si dovrà riempire il tubo con acqua per favorirne l'affondamento;
5) bloccaggio del tubo mediante l'apposita morsa in modo che dalla perforazione fuoriesca solamente l'estremità superiore del tubo in PVC/ABS;
6) inserimento dello spezzone successivo ed esecuzione delle operazioni di incollaggio e sigillatura del giunto;
7) prosecuzione delle operazioni di cui al punto VI. fino al completamento della colonna;
8) inizio della cementazione a partire dal fondo foro, a bassa pressione (≈ 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;
9) 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 ≥ 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;
10) 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;
11) verifica della direzione e dello scostamento dalla verticale del foro mediante misure clinometriche, se richiesto da Ferrovie.

A seguito delle operazioni preliminare su indicate le modalità di esecuzione della prova Down-Hole dovranno seguire la seguente procedura:

1) posizionamento e bloccaggio del ricevitore in corrispondenza del primo punto di prova, ubicato in genere verso il fondo foro;
2) generazione dell'impulso sismico e registrazione degli arrivi delle onde di compressione e di taglio;
3) 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 preventivamente autorizzata con le Ferrovie.

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 si dovrà rilevare con precisione l'orientamento dei geofoni rispetto alla direzione di energizzazione.

Documenti da consegnare

a) Relazione conclusiva contenente sia una nota tecnica descrittiva della prospezione eseguita (con indicazioni del numero del foro, ubicazione, modalità esecutive, caratteristiche della tubazione installata, quote della bocca foro e del fondo foro ecc.), sia gli algoritmi di calcolo impiegati (tabelle e tavole ad integrazione e chiarimento delle analisi), nonché una diagrafia con tutte le indicazioni riferibili ai dati misurati o calcolati (stratigrafia del sondaggio, tempi di arrivo delle onde P e S, velocità delle onde di P e S per ogni stazione, velocità intervallari delle onde P e S, attenuazione e fattore Q, coefficiente di Poisson dinamico, moduli di elasticità, di taglio e di compressibilità dinamici, tracce sismografiche onde P e S, risultanze finali ed interpretative).
b) Sismogrammi in originale correlati dalle informazioni necessarie all'identificazione dei singoli tiri.

3.6.4.4 Prospezione con tecnica Cross-Hole

Il metodo sismico Cross-Hole misura la velocità di propagazione delle onde di compressione (Vp) e di taglio (Vs) lungo un percorso orizzontale tra due e più fori di sondaggio all'interno dei quali sono posti rispettivamente la sorgente degli impulsi sismici ed i geofoni ricevitori. I fori dovranno essere paralleli e ad una distanza reciproca compresa tra 5 e 10 m.

A. Strumentazione

Per l'esecuzione della prova Cross-Hole la strumentazione di acquisizione dati dovrà avere le seguenti caratteristiche minime:

- sismografo registratore ad almeno 12 canali con capacità di campionamento dei segnali tra 0,025 e 2 msec, 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;
- geofono tri-direzionale con sensori ortogonali (di cui uno verticale e gli altri due orizzontali a 90° dal primo), con frequenza compresa tra 6 -14 Hz, collegato ad un cavo metrato di sospensione; il geofono deve essere a contatto con il rivestimento per mezzo di un dispositivo di bloccaggio manico o pneumatico;
- sistema di comunicazione e di trasmissione del "tempo zero" (time break);
- sistema di energizzazione, preferibilmente di tipo non distruttivo, costituito da un generatore meccanico e/o pneumatico di onde polarizzate sul piano verticale; in alternativa, sono impiegabili sistemi che generano onde sferiche tipo il cannoncino sismico fondo foro, le microcariche di esplosivo o le capsule detonanti. L'Esecutore dovrà dimensionare correttamente la sorgente di energia in funzione della natura e delle caratteristiche dei terreni interessati che sono da considerarsi noti in quanto le misure sono successive alla perforazione dei sondaggi entro i quali si eseguono le stesse.

B. Modalità esecutive

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.

I fori andranno eseguiti con le stesse modalità della prova Down-Hole cui si rimanda (paragrafo 3.6.4.3 – punto "B. Modalità esecutive").

La distanza tra gli assi dei fori nonché la loro direzione dovrà essere accuratamente 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 ±2°. La sonda sarà calata nel foro di sondaggio con aste a baionetta in grado di evitare modifiche dell'orientazione azimutale della sonda per l'intera profondità. Le misure inclinometriche dovranno essere eseguite ogni 1÷2 metri di foro.

A seguito delle operazioni preliminare le modalità di esecuzione della prova Cross-Hole dovranno seguire la seguente procedura:

- posizionamento e bloccaggio della sorgente e del/i ricevitore/i in corrispondenza della prima coppia/terna di posizioni coniugate, alla medesima profondità;
- sparo e registrazione degli arrivi degli impulsi longitudinali e di taglio;
- 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 preventivamente autorizzate dalle Ferrovie.

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 si dovrà rilevare con precisione l'orientamento dei geofoni rispetto alla direzione di energizzazione.

Documenti da consegnare

a) Relazione conclusiva contenente sia una nota tecnica descrittiva della prospezione eseguita (con indicazioni del numero del foro, ubicazione, modalità esecutive, caratteristiche della tubazione installata, quote della bocca foro e del fondo foro ecc.), sia uno schema geometrico di installazione dei fori (completo di grafici e tabulati del rilievo della verticalità e della distanza tra fori) sia gli algoritmi di calcolo impiegati (tabelle e tavole ad integrazione e chiarimento delle analisi), dovrà inoltre contenere una diagrafia con tutte le indicazioni riferibili ai dati misurati o calcolati (stratigrafia del sondaggio, tempi di arrivo delle onde P e S, velocità delle onde di P e S per ogni stazione, velocità intervallari delle onde P e S, attenuazione e fattore Q, coefficiente di Poisson dinamico, moduli di elasticità, di taglio e di compressibilità dinamici, tracce sismografiche onde P e S, misure inclinometriche e risultanze finali ed interpretative);
b) Sismogrammi in originale correlati dalle informazioni necessarie all'identificazione dei singoli tiri.

3.6.4.5 Prospezione geosismica attiva di superficie del tipo Multichannel Analysis of Surface Waves (M.A.S.W.)

La prospezione geosismica attiva di superficie di tipo M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves), viene utilizzata per la determinazione del profilo di velocità delle onde di taglio (Vs) e del parametro Vs30

(velocità media delle onte di taglio nei primi 30 metri sotto il p.c.), attraverso il rilevamento delle onde Rayleigh, tramite stendimento di 12 o 24 geofoni-ricevitori o accelerometri allineati, disposti con distanza intergeofonica non superiore a 5 metri.

Con tale metodologia vengono determinate le curve di dispersione delle onde superficiali di tipo Rayleig, generate con idonei sistemi di energizzazione e registrate con 12 o 24 geofoni verticali disposti secondo geometria lineare ed offset a distanza non inferiore a tre volte il C-spacing e wave number, aventi diverso periodo di oscillazione (10 Hz, 4,5 Hz).

Documenti da consegnare

a) Relazione riepilogativa contenente:
   - ubicazione della verticale di esplorazione (espressa in termini di coordinate planimetriche ed altimetriche);
   - posizione, rispetto alla verticale, dei ricevitori e della sorgente;
   - descrizione della strumentazione utilizzata;
   - i segnali registrati dai ricevitori, specificando l'interasse corrispondente tra i ricevitori e la posizione della sorgente;
   - il criterio di elaborazione adottato per il calcolo delle velocità e i corrispondenti elaborati;
   - l'inversione del modello di rigidità del sottosuolo fino al raggiungimento del miglior "fitting" tra i dati sperimentali e teorici;
   - il diagramma che riporta le velocità delle onde di taglio stimate sull'asse delle ascisse in funzione della profondità in metri sull'asse delle ordinate, secondo la Normativa Tecnica vigente.

3.6.4.6 Prospezione geofisica con metodo sismico passivo dei microtremori a rifrazione del tipo Refraction Microtremor (Re.Mi.)

La prospezione geofisica con metodo sismico passivo dei microtremori a rifrazione Re.Mi (Refraction Microtremor), permette la determinazione del profilo di velocità delle onde di taglio (Vs) e del parametro Vs30 (velocità media delle onte di taglio nei primi 30 metri sotto il p.c.), attraverso l'utilizzo di uno stendimento di 24 geofoni verticali, disposti con distanza intergeofonica non superiore a 5 metri, con frequenza propria di 4,5 Hz.

Il metodo Re.Mi. consiste nell'acquisizione e nell'analisi dei microtremori, con processo di inversione e interpretazione secondo la metodologia di analisi del rapporto spettrale H/V o di Nakamura, eseguita con stendimento di 24 geofoni verticali non allineati e opportunamente distribuiti.

A. Modalità esecutive

L'acquisizione dati consiste nella registrazione, per la durata di diversi secondi, delle onde di superficie generate dall'ambiente in corrispondenza dello stendimento sismico.

I parametri di acquisizione da adottare dovranno essere i seguenti:

- sample rate 2 m/s;
- record lenght 32 sec.

L'acquisizione delle misure deve essere ripetuta 10 volte, con un intervallo tra un gruppo di prime 5 acquisizioni e il gruppo di successive 5 acquisizioni.

Tra i due gruppi di acquisizione si dovrà provvedere a ruotare di 90° i singoli geofoni, senza modificarne l'ubicazione.

Documenti da consegnare

a) Relazione riepilogativa contenente:
   - grafici del profilo di velocità in onde S e classificazione del sottosuolo ai sensi della Normativa Tecnica vigente;
   - l'inversione del modello di rigidità del sottosuolo secondo la procedura di Nakamura;
   - planimetria con ubicazione dello stendimento;
   - procedure di esecuzione della prova.

3.6.4.7 Misure di rumore sismico ambientale a stazione singola tramite metodo HVSR

Questa tecnica si basa essenzialmente sul rapporto spettrale H/V (rapporto di ampiezza fra le componenti spettrali del rumore sismico misurate sul piano orizzontale e verticale) di rumore ambientale (seismic noise) e permette di valutare la frequenza di risonanza di un sito. La tecnica proposta da Nakamura assume che i microtreinori (rumore ambientale a corto periodo, registrabile in qualunque momento posizionando un sensore sismico sul terreno) consistano principalmente di un tipo di onde superficiali, le onde di Rayleigh, che si propagano in un singolo strato soffice su semispazio e che la presenza di questo strato sia la causa dell'amplificazione al sito.

Attraverso un sistema di acquisizione composto da un sensore a tre componenti, da un convertitore analogico digitale e da un GPS, si registrano finestre di rumore ambientale dalle quali è possibile elaborare i rapporti H/V; tali rapporti presentano valori differenti a seconda del sito considerato, mostrando a seconda dei casi un picco di amplificazione in corrispondenza della frequenza fondamentale del sito (esso dipende da alcune caratteristiche dei litotipi di indagine, tra le quali le più importanti sono lo spessore delle coltri di copertura e i differenti parametri geotecnici e geofisici che definiscono il contrasto tra i diversi litotipi).

A. Modalità esecutive

La strumentazione di acquisizione presenta le seguenti specifiche:

- trasduttori tricomponenti (N-S, E-W, verticale) a bassa frequenza (< 1-2 Hz);
- amplificatori;
- digitalizzatore;
- frequenza di campionamento: > 50 Hz;
- convertitore A/D (analogico digitale) a 16 o 24 bit;
- durata registrazione: >30 minuti;
- collegamento al tempo GPS per la referenziazione temporale.

Lo strumento di misura composto da geofoni a tre componenti orientati secondo una terna di assi cartesiani (si assume la convenzione descritta nelle linee guida del Progetto SESAME secondo la quale l' asse Z corrisponde al geofono verticale, l' asse X e l' asse Y corrispondono rispettivamente al geofono orizzontale orientato nella direzione Est-Ovest e al geofono orizzontale orientato nella direzione Nord-Sud) dovrà essere dotato di bolla sferica per il posizionamento, mentre l'accoppiamento con la superficie dovrà essere diretto o assicurato con piedini o puntazze in terreni morbidi. E' altresì indispensabile prestare attenzione alla presenza di radici, sottoservizi, vicinanza edifici, vento ecc., in quanto possono creare disturbo nell'effettuazione delle misure, inducendo una forte perturbazione a bassa frequenza. Si dovrà specificare il tipo di apparecchiatura utilizzata e documentare le condizione in cui viene registrato il rumore ambientale.

Per uno studio di risposta di sito si dovranno effettuare almeno tre misure, ognuna di almeno 30 minuti per punto, da cui derivare il valore di frequenza di risonanza. Per l'elaborazione dei dati si dovrà impiegare un software in grado di consentire la determinazione delle frequenze di risonanza del sottosuolo, mediante la tecnica dei rapporti spettrali secondo le linee guida del progetto europeo SESAME (Site EffectS assessment

using Ambient Excitations, 2005). Il metodo non è utilizzabile per la ricostruzione del modello sismostratigrafico del sottosuolo, a meno di una elaborazione congiunta con i risultati di indagini sismiche attive e in presenza di specifiche tarature stratigrafiche.

I principali passi del processing dovranno essere i seguenti:

- suddivisione della finestra di registrazione completa in sotto-finestre di almeno 120 sec.;
- eliminazione delle sotto-finestre eventualmente contenenti transienti;
- FFT (Fast Fourier Trasform) incluso il tapering;
- operatore di smoothing (Konno & Ohmachi valida per frequenze <1Hz e Hanning valida per frequenze >1Hz);
- merging dei componenti orizzontali;
- H/V Spectral Ratio per ogni sotto-finestra utilizzata ;
- media della curva H/V;
- valutazione della deviazione standard.

Le risultanze dell'elaborazione dovranno essere presentate mediante graficizzazione dei rapporti spettrali H/V delle varie componenti, indicando il massimo del rapporto HVSR nel valore di "fr" (frequenza fondamentale di risonanza) e la sua deviazione standard. I risultati forniti devono essere comprensivi anche degli spettri iniziali non processati, in modo da rendere possibile la valutazione, anche a posteriori, dell'effettiva qualità del rapporto spettrale. E' consigliato un confronto dei risultati ottenuti tramite rumore ambientale con le funzioni di trasferimento derivate attraverso l'applicazione di tecniche a singola stazione (H/V) o a stazione di riferimento basate sull'analisi di terremoti, nel caso in cui questi siano disponibili.

Documenti da consegnare

La documentazione dovrà contenere:

- descrizione delle procedure eseguite (frequenza di campionamento, durata della registrazione);
- planimetria su base CTR con ubicazione della prova e posizionamento dello strumento;
- criteri di attendibilità della misura;
- criteri di validità del picco di fr;
- valori di soglia delle condizioni di stabilità;
- curve H/V con deviazione standard in tutto l'intervallo di frequenze considerato;
- indicazione dei vari picchi ottenuti e deviazione standard in ampiezza e frequenza;
- tabella con i parametri di qualità secondo le linee guida del progetto europeo SESAME;
- verifica dell'assenza di rumore elettromagnetico ;
- interpretazione di "fr" e dello spettro H/V nei termini di caratteristiche del sito;
- valutazione dell'omogeneità del sito rispetto alle frequenze di risonanza;
- spessori della coltre di copertura;
- informazioni aggiuntive riguardanti la stazionarietà del segnale durante la registrazione e la direttività.

3.6.4.8 Misure di rumore sismico ambientale ad antenna sismica tramite procedura ESAC

Questa tecnica basata sul metodo d'indagine ESAC (AKI 1959) ad antenna singola (array) utilizza una procedura indiretta per la determinazione delle velocità di fase apparente o effettiva delle onde di Rayleigh a partire da misure di vibrazioni ambientali senza dover operare con una sorgente attiva, condotta con gruppi di sensori sismici distribuiti sulla superficie del terreno da indagare (antenna sismica o sismic array). Dato che il rumore ambientale è in genere caratterizzato da onde a basse frequenze (<10-15Hz), la velocità di fase apparente fornita dal metodo riguarda le basse frequenze e quindi gli strati di terreno o roccia più profondi.

Con la tecnica ad antenna singola (array) vengono analizzati i rapporti di fase tra i treni d'onda che

attraversano un'antenna sismica ovvero una distribuzione di sensori disposti con geometrie variabili sulla superficie del terreno, che nella pratica comune possono essere a "L", "T", croce, "X", triangolo, rettangolo, cerchio o a disposizione random.

In particolare, la procedura è finalizzata alla determinazione delle velocità di propagazione delle onde superficiali presenti nel campo delle vibrazioni ambientali alle varie frequenze di vibrazione ("curve di dispersione"). Questa informazione verrà poi utilizzata all'interno di una procedura di inversione per dedurre il profilo di velocità delle onde S nel sottosuolo nell'ipotesi che questo sia costituito da una pila di strati orizzontali sovrapposti ed omogenei al loro interno.

Uno stendimento ESAC è realizzato mediante l'utilizzo della classica strumentazione per l'esecuzione di una prospezione sismica a rifrazione con geofoni a componenti verticale da 4,5 Hz disposti secondo una geometria 2D (a "L",croci o cerchi).

L'esito finale di questo tipo di misura è una curva che rappresenta l'andamento delle velocità di fase degli strati di terreno profondi (oltre 50-60 m) in funzione della frequenza di vibrazione.

A. Modalità esecutive

La strumentazione di acquisizione presenta le seguenti specifiche:

- Sismografo dotato di almeno 24 canali;
- Numero di geofoni: ≥ 12
- Frequenza di risonanza dei geofoni: < 4,5 Hz
- Passo di campionamento: 2-5 ms
- Spaziatura geofoni: > 3m
- Frequenza di campionamento: 200-500 Hz;
- Durata della registrazione: > 20 min

Documenti da consegnare

b) Relazione riepilogativa contenente:
   - ubicazione della verticale di esplorazione (espressa in termini di coordinate planimetriche ed altimetriche);
   - posizione, rispetto alla verticale, dei ricevitori e della sorgente;
   - descrizione della strumentazione utilizzata;
   - descrizione del criterio di elaborazione del segnale adottato;
   - descrizione della fase di picking della curva di dispersione sperimentale apparente complessiva;
   - curva di dispersione effettiva;
   - l'inversione del modello di rigidità del sottosuolo fino al raggiungimento del miglior "fitting" tra i dati sperimentali e teorici;
   - verifica della compatibilità del profilo ottimale determinato confrontando il risultato ottenuto con il metodo HVSR nel caso sia stato eseguito.

3.6.4.9 Prospezione sismica tomografica

La prospezione sismica tomografica, che si esegue in corrispondenza di una sezione delimitata da due superfici comunque inclinate (un foro di sondaggio e la superficie topografica, due fori di sondaggio, ecc..), consiste nel rilievo della velocità di propagazione di onde sismiche generate ad intervalli costanti in

corrispondenza di una delle due superfici in modo da ottenere una fitta rete di percorsi sismici che permettano di dettagliare la distribuzione delle velocità sismiche nella sezione indagata.

A. Strumentazione

La strumentazione di acquisizione dati dovrà avere le seguenti caratteristiche minime:

- sismografo registratore ad almeno 12 canali con capacità di campionamento dei segnali tra 0,025 e 2 msec, 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;
- geofoni di superficie e da foro con frequenza compresa tra 8 e 14 Hz, collegati ad un cavo metrato; il geofono da foro deve essere a contatto con il rivestimento per mezzo di un dispositivo di bloccaggio meccanico o pneumatico;
- sistema di comunicazione e di trasmissione del "tempo zero" (time break);
- sistema di energizzazione, preferibilmente di tipo non distruttivo; sono impiegabili sistemi quali il cannoncino sismico (in grado di fornire una velocità alla bocca foro di 400-600 m/s), le microcariche di esplosivo. L'Esecutore dovrà dimensionare correttamente la sorgente di energia in funzione della natura e delle caratteristiche dei terreni interessati che sono da considerarsi noti in quanto le misure sono successive alla perforazione dei sondaggi entro i quali si eseguono le stesse.

Nel caso in cui sia previsto anche il rilievo delle onde di taglio i geofoni ed il sistema di energizzazione dovranno avere le caratteristiche indicate nella prova Cross-Hole (paragrafo 3.6.4.4).

B. Modalità esecutive

L'esecuzione della prova sismica tomografica richiede la predisposizione di almeno un foro 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.

I fori andranno eseguiti con le stesse modalità della prova Down-Hole cui si rimanda (paragrafo 3.6.4.3 – punto “B. Modalità esecutive”).

La distanza tra gli assi dei fori, nonché la loro direzione, dovrà essere misurata mediante un apposito rilievo inclinometrico. 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 ±2°.

L’esecuzione della prospezione prevede l’utilizzo di una catena di geofoni se in superficie o di geofoni da foro se all’interno di un foro di sondaggio, posti a distanza prefissata. L’energizzazione dovrà essere eseguita o in foro oppure in superficie. Il posizionamento dei punti di energizzazione dovrà essere in numero uguale o maggiore del numero di sensori impiegati in modo tale da potere ottenere un reticolo di analisi adeguato agli scopi della ricerca ed in ogni caso dovranno essere preventivamente autorizzata dalle Ferrovie.

L’energizzazione inoltre dovrà essere adeguata alle distanze tra le sorgenti ed i ricevitori nonché alla risoluzione richiesta.

A seguito delle operazioni preliminare le modalità di esecuzione della prospezione tomografica saranno di massima le seguenti:

- posizionamento del sistema di energizzazione in un foro (o in superficie) e di una catena di almeno dodici geofoni, collegati in continuità elastica con le pareti del tubo in PVC, nel secondo foro (o in superficie);
- sparo e registrazione dei tempi di arrivo degli impulsi sismici ai geofoni in foro (o in superficie);
- traslazione della sorgente di energia 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 (asse x ed asse z) pari rispettivamente a 1/3÷1/5 e 1/5÷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 in:

1) lettura dei primi arrivi;
2) costruzione della famiglia di dati;
3) determinazione del modello di velocità di 1^ fase;
4) calcolo dei tempi teorici di propagazione;
5) confronto tra tempi di propagazione teorici e quelli rilevati;
6) modifica e adattamento del modello di velocità.

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 ±0,5 cm, da riferirsi a capisaldi topografici chiaramente individuati sul terreno e riportati sulla carta topografica.

Documenti da consegnare

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) Planimetria con l'esatta ubicazione delle misure effettuate;
c) Sezioni tomografiche, in tonalità diverse di colore, in termini di ray tracing, di densità dei dati e di velocità delle onde generate;
d) Tabelle dei dati rilevati e di quelli calcolati;
e) Sismogrammi in originale corredati dalle indicazioni necessarie all'identificazione di ogni singolo tiro.

3.6.5 PROVE SONICHE

3.6.5.1 Carotaggio sonico in foro di sondaggio.

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.

A. Strumentazione

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:

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

Documenti da consegnare.

a) Relazione descrittiva delle operazioni eseguite con commenti e valutazioni interpretative dei risultati ottenuti;
b) Diagrafie che correlino, per ciascuna profondità del foro investigato, la corrispondente velocità di propagazione dell'onda nel mezzo oggetto di rilevazione;
c) Diagrammi di registrazione corredati delle indicazioni necessarie a ricostruire la correlazione con la profondità.

3.7 INDAGINI GEOGNOSTICHE

3.7.1 PERFORAZIONI E SONDAGGI.

3.7.1.1 Perforazione ad andamento verticale o con inclinazione inferiore o uguale a 15 gradi, eseguita a distruzione di nucleo.

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 strumentazioni ed apparecchiature di controllo e monitoraggio.

A. Strumentazione

A.1. Sonda di perforazione

Le attrezzature da impiegare per la perforazione devono essere esclusivamente 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	≥ 400	(kgm)
Corsa continua	≥ 150	(cm)
Spinta	≥ 4000	(kg)
Tiro	≥ 4000	(kg)
Pompa per fluidi di perforazione	30÷60 90÷200	[bar (pressione)] [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 per il controllo delle condizioni operative.

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

A.2. Utensili di perforazione

Dovranno essere disponibili in cantiere:

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

A.3. Utensili di pulizia fondo foro

Dovranno essere disponibili in cantiere:

- carotiere semplice con L = 40 ÷ 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 ∅ = 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÷10 mm
- diametro esterno: ∅est =127÷152 mm
- lunghezza spezzoni: L = 50÷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 delle attrezzature anche 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.

Le Ferrovie si riservano la possibilità di autorizzare l'impiego di attrezzature con requisiti diversi da quelli sopraelencati.

B. Modalità esecutive

B.1. Generalità

La perforazione a distruzione di nucleo, a rotazione o a rotopercussione, può essere eseguita con diametro variabile (comunque non inferiore a mm 100 a meno di specifica richiesta delle Ferrovie) impiegando gli utensili di cui al punto precedente.

La eventuale proposta di modifica del diametro di perforazione, definita in funzione delle prove da eseguire e/o degli strumenti da installare in foro, dovrà essere preventivamente approvata dalle Ferrovie.

Se necessario dovrà essere impiegata una tubazione metallica provvisoria di rivestimento con le caratteristiche di cui al punto precedente.

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 specificato per i sondaggi a carotaggio continuo.

Se durante l'esecuzione della perforazione è richiesta la registrazione continua dei parametri di perforazione la spinta applicata all'utensile dovrà essere mantenuta costante per l'intera verticale di prova e dovrà essere tale da assicurare il superamento dei livelli più resistenti senza eccessiva perdita di leggibilità dei risultati negli strati meno resistenti.

Il fluido di circolazione sarà costituito da fanghi bentonitici o polimerici salvo diverse indicazioni da parte delle Ferrovie.

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 oppure 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 rotopercussione. 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.

I detriti di perforazione dovranno essere prelevati durante l'avanzamento di tutto il sondaggio e dopo essere stati lavati dovranno essere disposti, ove richiesto dalle Ferrovie, nelle cassette catalogatrici con l'indicazione chiara del sondaggio e dell'intervallo di profondità di riferimento.

B.1.3. Registrazione continua dei parametri di perforazione

Ove richiesto dalle Ferrovie, per tutta la perforazione e/o parte di essa, dovranno essere registrati, in funzione del tempo o 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 (Vr);
- velocità istantanea di avanzamento (Va);
- spinta applicata sull'utensile di perforazione (PCS);
- pressione del fluido di circolazione (PIF);
- coppia di rotazione assorbita.

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

Il numero dei parametri di perforazione da registrare, non dovrà essere comunque inferiore a tre (velocità istantanea di avanzamento, spinta sull'utensile di perforazione, coppia di rotazione).

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 idoneo registratore (analogico/digitale) e dovranno poter essere elaborati automaticamente in cantiere, prevedendo allo scopo dispositivi di visualizzazione o di stampa delle diagrafie provvisorie tali da consentire ove necessario la verifica da parte delle Ferrovie della validità, oltre che dell'accuratezza, del programma di prove attuato.

Al termine delle prove saranno consegnati i grafici contenenti, in ascisse, le scale di riferimento relative a ciascun parametro misurato ed, in ordinate, i tempi e/o le relative profondità d'investigazione.

Le diagrafie di cui alla presente voce dovranno inoltre indicare il tipo di operazione condotta (perforazione o campionamento).

La bocca dei sondaggi dovrà essere sistemata con chiusino oppure si dovrà procedere attraverso intasamento del foro di sondaggio 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.

Documenti da consegnare

Per ogni perforazione eseguita dovranno essere consegnati i seguenti elaborati:

a) Colonna stratigrafica, basata sull'esame dei detriti, 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;
   - inclinazione del foro mediante misure dei cateti orizzontale e verticale del triangolo rettangolo avente per ipotenusa la direzione di perforazione riferito al nord;
   - natura e caratteristiche geolitologiche di massima dei terreni attraversati;
   - presenza ed ubicazione precisa dei livelli acquiferi eventualmente intercettati e relative quote di livello statico;
   - eventuali anormalità o difficoltà particolari riscontrate durante la perforazione, nonché qualsiasi altra indicazione ritenuta utile dall'operatore o dalle Ferrovie ai fini dell'indagine.

Riferimenti normativi:

- Associazione Geotecnica Italiana (1977). Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche.

3.7.1.1.1 Sondaggio per Indagini Ambientali

Nel caso di sondaggi geognostici a distruzione di nucleo per indagini ambientali, l'esecuzione di tutte le attività dovrà essere svolta in osservanza alla normativa vigente in materia ambientale.

Tutte le fasi di perforazione e di campionamento dovranno essere eseguite da personale specializzato dotato di strumentazione e attrezzature adeguate, costruiti con materiali e modalità tali che il loro impiego non modifichino le caratteristiche delle matrici ambientali e la concentrazione delle sostanze contaminanti.

Si dovrà evitare la diffusione della contaminazione nell'ambiente circostante e nella matrice ambientale campionata (cross-contamination) durante le operazioni di perforazione, allestimento e prelievo dei campioni. A tal fine, saranno controllati i circuiti idraulici delle macchine e di tutte le attrezzature utilizzate durante le perforazioni e il campionamento per evitare le perdite di olio, lubrificanti, carburanti e altre sostanze; nel caso di perdite e/o fuoriuscite accidentali si dovrà rimuoverle prontamente ed accertarsi che queste non abbiano prodotto contaminazione del campione o del terreno.

Per la decontaminazione delle attrezzature dovrà essere predisposta un'area delimitata e opportunamente impermeabilizzata, posta a una distanza dall'area di prelievo-campionamento sufficiente a evitare la diffusione dell'inquinamento delle matrici campionate.A fronte di quanto detto, saranno eseguiti i lavaggi di: carotiere, aste di perforazione e rivestimenti metallici, prima dell'inizio della perforazione e a ogni manovra di perforazione; la pulizia dei contenitori e dell'impianto per l'eventuale acqua di circolazione di perforazione, prima dell'inizio di ogni sondaggio.

Al termine di ogni perforazione saranno decontaminati tutti gli attrezzi e gli utensili che hanno operato sia in superficie sia in profondità. Tali operazioni saranno compiute con acqua in pressione per mezzo di una idropulitrice a vapore.

Le apparecchiature e gli attrezzi dovranno essere asciugati mediante evaporazione naturale o in caso di condizioni climatiche avverse con carta assorbente esente da contaminazione.

In caso di eventi meteorici le operazioni di decontaminazione dovranno essere effettuate al riparo dalle acque di pioggia al fine di garantire assenza di alterazioni del campione.

Utensili non facilmente pulibili (funi, guanti) dovranno essere sostituiti con nuovi al termine di ogni trivellazione.

Al termine delle operazioni o in attesa di essere riutilizzati gli attrezzi e le apparecchiature decontaminati dovranno essere conservati in condizioni tali da evitare la contaminazione.

Le attrezzature utilizzate dovranno essere in perfette condizioni di manutenzione e operatività e permettere la perforazione in terreno di qualsiasi natura; sarà facoltà delle Ferrovie far sostituire il materiale di perforazione non conforme alle presenti specifiche e/o ritenuto non idoneo ai fini della tipologia d'indagine in oggetto.

I sondaggi saranno preferibilmente realizzati con una sonda meccanica a rotazione, del diametro di 101 mm e rivestimento a seguire del diametro di 127 mm; sarà verificata, a cura e oneri dell'Esecutore, la provenienza e la qualità dell'acqua utilizzata come fluido di perforazione, mediante lo svolgimento regolare di analisi chimiche.

Tutte le operazioni di perforazione saranno coordinate dal geologo, responsabile tecnico, che redigerà la stratigrafia intercettata ove possibile.

Dovrà essere segnalata e registrata sul giornale di campo ogni venuta d'acqua nel foro, specificando la profondità e stimando l'entità del flusso. Nel caso di perforazioni di durata superiore alla giornata, si dovrà eseguire la misura del livello piezometrico a fine giornata e si avrà cura di proteggere il foro da eventuali contaminazioni esterne.

Il livello piezometrico sarà registrato anche il giorno successivo, alla ripresa delle operazioni di perforazione e al termine delle stesse, annotando il tutto sui moduli di campagna.

La quota del fondo foro sarà verificata tramite scandaglio a filo graduato. Apposite manovre di pulizia saranno eseguite qualora vi sia differenza tra quota raggiunta con la perforazione e quota misurata con scandaglio.

È vietato l'impiego di lubrificanti di origine non naturale per i filetti, l'impiego di corone e scarpe verniciate e dovranno essere assolutamente evitate perdite derivanti dagli impianti idraulici.

Documenti aggiuntivi da consegnare

Per ogni sondaggio di tipo ambientale, in aggiunta alla documentazione prevista per i sondaggi non ambientali, dovrà essere consegnata:

1) Una Relazione conclusiva e riepilogativa di tutte le attività svolte, contenente:
   - informazioni relative all'ubicazione del sito, con planimetria riportante ubicazione dei punti di indagine con coordinate planimetriche e altimetriche misurate con GPS;
   - procedure di campionamento seguite e modalità di gestione dei campioni;
   - eventuali procedure di decontaminazione adottate;
   - informazioni dettagliate su tutte le anomalie riguardanti la perforazione (come ad esempio franamenti o rifluimenti all'interno del foro, perdite di fluido di perforazione, venute d'acqua, presenza di acque di falda, prove e campionamenti non terminati, presenza di gas, variazione nella velocità di avanzamento, ecc..), da registrate dettagliatamente nel rapporto di perforazione .

3.7.1.2 Sondaggio geognostico ad andamento verticale o con inclinazione inferiore o uguale a 15 gradi eseguito a carotaggio continuo.

La perforazione a carotaggio continuo si esegue quando, per il riconoscimento del terreno, devono essere prelevati, senza soluzione di continuità, campioni rappresentativi dei sedimenti 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 dovrà permettere quindi:

- la descrizione stratigrafica in chiave geotecnica e/o geomeccanica dei materiali incontrati nella perforazione;
- il prelievo di campioni indisturbati;
- l'esecuzione in foro di prove geotecniche, geomeccaniche e idrogeologiche;
- l'attrezzaggio del foro per prove di controllo e di monitoraggio;
- il rilievo del livello piezometrico della falda.

A. Strumentazione

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 elencati di seguito:

Velocità di rotazione	0 ÷ 500	(rpm)
Coppia massima	≥ 400	(kgm)
Corsa continua	≥ 150	(cm)
Spinta	≥ 4000	(kg)
Tiro	≥ 4000	(kg)
Pompa per fluidi di perforazione	30÷60 90÷200	[bar (pressione)] [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.

L'eventuale impiego di fluidi di circolazione e raffreddamento dovrà essere approvato dalle Ferrovie. L'utilizzo di fanghi richiede l'adozione di un impianto per la preparazione, il recupero e la pulizia medesimi.

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 degli utensili per la riparazione dei guasti di ordinaria entità.

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: Øest = 101÷146 mm
  - lunghezza utile: L = 150÷300 cm
- carotiere doppio a corona sottile (T2, T6) con estrattore per perforazione con fluido:
  - diametro nominale: Øest ≥ 101 mm
  - lunghezza utile: L = 150÷300 cm
- carotiere triplo con porta campione interno estraibile ed apribile longitudinalmente (T6S), con estrattore per perforazione con fluido:
  - diametro nominale: Øest ≥ 101 mm
  - lunghezza utile: L = 150 cm
- corone di perforazione in widia e diamantate;
- aste di perforazione con filettatura troncoconica:
  - diametro esterno: Øest = 67÷76 mm
  - lunghezza utile: L = 150 cm, 300 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÷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 ∅ = 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÷10 mm
- diametro esterno: ∅est =127÷152 mm
- lunghezza spezzoni: L = 50÷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 delle attrezzature anche 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.

Le Ferrovie si riservano la possibilità di autorizzare l'impiego di attrezzature con requisiti diversi da quelli sopraelencati.

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, si dovranno eseguire, nell'area interessata, la regolarizzazione del piano di campagna mediante asportazione o riporto di terra o materiale arido ed ogni opera provvisionale 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: in alternativa si possono utilizzare, a seguito di approvazione delle Ferrovie, sistemi "wire-line" purché si ottenga la percentuale di carotaggio richiesta e non si producano dilavamenti e/o rammollimenti del materiale. Qualora richiesto dalle Ferrovie, l'Esecutore 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'argano di sollevamento.

In presenza di terreni estremamente molli sarà necessario posizionare in prossimità della corona un porta-estrattore 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 di ogni manovra 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 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 delle Ferrovie. 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 previsioni o assenza di 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 il rivestimento dovrà essere 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 dalle Ferrovie, 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.

Possono essere utilizzati fanghi polimerici o altri fluidi speciali subordinati all'approvazione delle Ferrovie 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.

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

La bentonite dovrà essere verificata 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.

Dovranno essere eseguiti 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.

Devono essere evitati indesiderabili effetti di risucchio che 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 devono essere 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

Il numero dei campionamenti, la relativa quota in foro di sondaggio e la tipologia di campione da prelevare (indisturbato o rimaneggiato) dovrà essere autorizzato dalle Ferrovie.

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 o manufatti in muratura, in cls o manufatti in muratura, in cls o in lastre di rivestimento o in terreni naturali consolidati artificialmente.

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 e conservare 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, asciutti 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 ≥ 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

La fustella dei campionatori dovrà essere a pareti sottili in acciaio inox con i seguenti parametri dimensionali:

- rapporto L/Di ≥ 7,5
- rapporto delle aree:

$$c_p = \frac{D_{est}^2 - D_i^2}{D_i^2} \cdot 100 \quad \leq 15$$

- coefficiente di spoglia interna:

$$c_i = \frac{D_i - D}{D} \cdot 100 = 0{,}0 \div 0{,}5 \text{ per campioni corti e } 0{,}75 \div 1{,}0 \text{ per campioni lunghi}$$

- diametro utile ≥ 85 mm

Con:
L = lunghezza utile della fustella
D_i = diametro interno della fustella
D_{est} = 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 ≤ 200 kPa, in relazione alla potenza della pompa utilizzata; può essere impiegato con risultati positivi anche in sabbia fine da poco a mediamente addensata.

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

   I campionatori tradizionali (Shelby, Denison, Mazier) possono essere utilizzati solo in seguito alla preventiva autorizzazione delle Ferrovie. Altri tipi di campionatore possono essere utilizzati salvo preventivo parere da parte delle Ferrovie.

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 instante 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 estrudere 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. 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 divisori e coperchio apribile a cerniera.

B.10. Registrazione dei parametri di perforazione

Durante tutta o parte della perforazione su richiesta delle Ferrovie, dovranno essere registrati:

- velocità di rotazione dell'utensile (Vr);
- velocità istantanea di avanzamento (Va);
- spinta applicata sull'utensile di perforazione (PCS);
- pressione del fluido di circolazione (PIF);
- coppia di rotazione assorbita.

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

Il numero dei parametri di perforazione da registrare, non dovrà essere comunque inferiore a tre (velocità istantanea di avanzamento, spinta sull'utensile di perforazione, coppia di rotazione).

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 idoneo registratore (analogico/digitale) e dovranno poter essere elaborati automaticamente in cantiere, prevedendo allo scopo dispositivi di stampa delle diagrafie provvisorie tali da consentire ove necessario la verifica da parte delle Ferrovie della validità, oltre che dell'accuratezza, del programma di prove attuato.

Al termine delle prove saranno consegnati i grafici contenenti, in ascisse, le scale di riferimento relative a ciascun parametro misurato ed, in ordinate, i tempi e/o le relative profondità d'investigazione.

Le diagrafie di cui alla presente voce dovranno inoltre indicare il tipo di operazione condotta (perforazione o campionamento).

B.11. Riempimento dei fori di sondaggio con miscele cementizie

Il foro di sondaggio, all'interno del quale non è stata installata alcuna strumentazione o non è prevista alcuna successiva prova idraulica, geotecnica e meccanica, 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.12. 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.

B.13. Descrizione stratigrafica, geotecnica, geomeccanica

B13.1. Sondaggio in terreni

Per ciascuno strato o livello attraversato deve essere fornita una esauriente descrizione stratigrafica e geotecnica determinando i seguenti elementi che verranno descritte nel seguito:

a) tipo di terreno;
b) morfometria dei clasti;
c) condizioni di umidità naturale;
d) compattezza;
e) colore;
f) struttura;
g) odore;
h) reazione all'HCl
i) particolarità aggiuntive.

a) Tipo di terreno

I diversi terreni sono raggruppabili in quattro gruppi principali:

- Terreni granulari (blocchi, ciottoli, ghiaia, sabbia) se prevalgono grani visibili ad occhio nudo (d>0,006 mm), privi di coesione se asciutti;
- Terreni coesivi (limo, argilla): se prevalgono grani non visibili ad occhio nudo, dotati di coesione se asciutti;
- Terreni organici o vegetali: se prevalgono materiali organici o vegetali;
- Torbe: se prevalgono resti lignei.

Per la definizione del tipo di terreno, si farà riferimento alla tabella 3.7.1.2-1.

Tabella 3.7.1.2-1

Definizione		Diametro dei grani (mm)	Criteri di identificazione
Blocchi		> 200	Visibili ad occhio nudo
Ciottoli		60 – 200	
Ghiaia	Grossolana	20 – 60	
	Media	6 - 20	
	Fine	2 – 6	
Sabbia	Grossolana	0,6 – 2	
	Media	0,2 – 0,6	
	Fine	0,06 – 0,2	
Limo		0,002 – 0,06	Visibile a occhio nudo solo se grossolano, poco plastico, dilatante, lievemente granulare al tatto. Si disgrega velocemente in acqua, si essicca velocemente, possiede coesione ma può essere polverizzato tra le dita.
Argilla		< 0,002	Plastica, non dilatante, liscia al tatto. Si appiccica alle dita, si disgrega lentamente in acqua, si asciuga lentamente, si ritira durante l'essiccazione. I frammenti asciutti possono essere rotti ma non polverizzati tra le dita.
Terreno organico o vegetale			Contiene una rilevante percentuale di sostanze organiche.
Torba			Predominano i resti lignei non mineralizzati. Colore scuro. Bassa densità

Secondo le raccomandazioni AGI il nome del terreno è dato dalla classe granulometrica predominante seguita dalla denominazione della frazione secondaria secondo il seguente schema:

- preceduta dalla preposizione "con" se compresa tra il 50 ed il 25% (es. argilla con limo);
- seguita dal suffisso "-oso" se tra il 25 ed il 10% (es. argilla limosa);
- preceduta dal termine "debolmente" e seguita dal suffisso "-oso" se tra il 10 ed il 5% (es. argilla debolmente limosa).

b) Morfometria dei clasti

Della frazione grossolana (blocchi, ciottoli, ghiaia) si dovrà specificare:

- la natura litologica e l'origine;
- il diametro massimo e medio dei grani;
- la percentuale e la composizione della matrice;
- il grado di uniformità della composizione granulometrica;
- la morfometria con riferimento a:
  - forma: misura delle relazioni esistenti tra le tre dimensioni di un grano (elementi discoidali, sferoidali, lamellari, allungati);
  - sfericità: valutazione quantitativa dell'equidimensionalità di un grano, indipendente dalla misura della forma e dell'arrotondamento (alta sfericità, bassa sfericità);
  - grado di arrotondamento: determinazione della curvatura degli spigoli secondo le definizioni della tabella 3.7.1.2-2.

Tabella 3.7.1.2-2

Definizione	Criteri di identificazione
Angolare	Nessuno smussamento. Le particelle presentano spigoli vivi, facce relativamente piane.
Subangolare	Mantiene forma originale con evidenze di smussamento. Le particelle presentano spigoli arrotondati, facce relativamente piane.
Subarrotondata	Smussamento considerevole e riduzione dell'area di superficie del clasto. Le particelle presentano facce pressoché piane, con spigoli ben arrotondati.
Arrotondata	Rimozione delle superfici originali, con qualche superficie piatta. Le particelle presentano facce incurvate e assenza di spigoli.
Ben arrotondata	Superficie interamente compresa da curve ben arrotondate. Le particelle presentano facce tondeggianti.

c) Condizioni di umidità naturale

Le condizioni di umidità del terreno naturale saranno definite utilizzando uno dei seguenti termini:

- asciutto;
- debolmente umido;
- umido;
- molto umido;
- saturo.

Si deve descrivere la condizione propria del terreno naturale, escludendo quanto indotto dall'eventuale fluido di circolazione.

d) Compattezza

Il grado di compattezza dovrà essere descritto in termini di consistenza nel caso di terreni coesivi (argilla, limo) ed in termini di addensamento nel caso di terreni granulari (sabbia, ghiaia).

Lo stato di consistenza dei terreni coesivi sarà descritto misurando la resistenza al penetrometro tascabile sulla carota appena estratta e scortecciata con una frequenza 1 (una) prova ogni 30÷50 cm (purché il materiale non sia fortemente disturbato). In alternanza alle prove con penetrometro tascabile dovranno essere eseguite prove con scissometro tascabile, sempre sulla carota appena estratta e scortecciata.

In aggiunta, le caratteristiche di consistenza dei terreni coesivi possono essere integrate dalle prove manuali riportate nella tabella 3.7.1.2-3.

Il grado di addensamento nei terreni granulari può essere descritto sulla base dei risultati della prova SPT, come indicato nella tabella 3.7.1.2-4.

In presenza di cementazione, nei terreni granulari, se ne dovrà valutare il grado secondo quanto riportato nella tabella 3.7.1.2-5..

Tabella 3.7.1.2-3

Definizione	Resistenza al penetrometro tascabile (kPa)	Prove manuali
Molto tenero	< 25	Espelle acqua quando strizzato tra le dite.
Tenero	25 - 50	Si modella tra le dita con poco sforzo. Si scava facilmente
Mediamente consistente	50 - 100	Si modella tra le dita con un certo sforzo. Offre una certa resistenza allo scavo.
Consistente	100 - 200	Non si modella tra le dita. E' difficile da scavare
Molto consistente	200 - 400	E' molto resistente tra le dita, può essere scalfito con l'unghia del pollice e si scava con molta difficoltà.
Duro	> 400	Può essere scalfito con difficoltà con l'unghia del pollice

Tabella 3.7.1.2-4

Descrizione	N_{SPT} (colpi/30 cm)	Prove manuali
Sciolto	0 - 4	Si scava facilmente con un badile
Poco addensato	4 - 10	Si scava abbastanza facilmente con un badile e si penetra con una barra
Moderatamente addensato	10 – 30	Difficile da scavare con un badile o da penetrare con una barra
Addensato	30 – 50	Molto difficile da penetrare, si scava con un piccone
Molto addensato	> 50	Difficile da scavare con un piccone

Tabella 3.7.1.2-5

Definizione	Criteri di identificazione
Debole	Si sbriciola o si rompe con una piccola pressione delle dita
Moderata	Si sbriciola o si rompe con una considerevole pressione delle dita
Forte	Non si sbriciola o si rompe con la pressione delle dita

e) Colore

Il colore dovrà essere descritto subito dopo l'estrazione della carota facendo riferimento alle carte colorimetriche Munsell definendo il colore predominante e la sua gradazione, la luminosità ed il tono.

Nei terreni granulari si dovrà descrivere il colore della matrice.

f) Struttura

La descrizione della struttura dei terreni dovrà evidenziare gli elementi significativi del deposito con particolare riferimento alla presenza o meno di discontinuità. In presenza di materiali coesivi si dovrà mettere in evidenza la presenza di tessiture brecciate (ad es. presenza di elementi consistenti in matrice molle) o di zone di taglio (superfici lisciate o striate).

Per la descrizione della struttura si potrà fare riferimento alla tabella 3.7.1.2-6.

Tabella 3.7.1.2-6

Definizione	Criteri di identificazione
Stratificata	Alternanza di strati con spessore e/o colore diverso. Spessore maggiore di 20 mm
Laminata	Alternanza di strati con spessore e/o colore diverso. Spessore minore di 20 mm
Fessurata	Presenza di fratture lungo piani definiti
Massiva	Materiale coesivo che se suddiviso in piccole porzioni mantiene identica resistenza alla rottura del terreno originario
Lenticolare	Inclusione di piccole parti di materiale differente in lenti di spessore noto (ad es. lenti sabbiose in argilla)
Omogenea	Colore e aspetto uniforme

La stratificazione dovrà essere descritta precisandone la spaziatura, come indicato nella tabella 3.7.1.2-7.

Tabella 3.7.1.2-7

Spessore medio (mm)	Descrizione
> 2000	Stratificazione in banchi
600 – 2000	Strati di elevato spessore
200 – 600	Strati di medio spessore
60 – 200	Strati di sottile spessore
20 – 60	Strati di spessore molto sottile
6 – 20	Laminazione
< 6	Laminazione sottile

Le alternanze regolari di tipi litologici diversi (ad es. sabbia e argilla) possono essere definite con il termine di "interstratificazione" o "alternanza".

g) Odore

I terreni contenenti quantità rilevanti di materiale organico presentano un caratteristico odore di vegetazione in decomposizione che dovrà essere evidenziato nel modulo stratigrafico.

h) Reazione all'HCl

La reazione all'acido cloridrico sarà descritta definendo qualitativamente l'effetto dell'acido sul materiale, come indicato nella tabella 3.7.1.2-8.

i) Particolarità aggiuntive (stato di alterazione; stratificazione: spessore ,forma ecc; fratture)

Ad integrazione degli elementi descrittivi sopra indicati, nel modulo stratigrafico dovranno inserite tutte quelle informazioni e particolarità utili alla definizione delle caratteristiche stratigrafico-geotecniche dei terreni.

A titolo di esempio, è opportuno segnalare la presenza di: radici; manufatti, riporti, materiale di discarica; fossili; sostanze deperibili, friabili, solubili.

Tabella 3.7.1.2-8

Definizione	Criteri di identificazione
Reazione nulla	Nessuna reazione visibile
Reazione debole	Reazione tranquilla, con bolle che si formano lentamente
Reazione forte	Reazione violenta, con bolle che si formano immediatamente

B13.2. Sondaggio in rocce

Per ciascuno litotipo attraversato deve essere fornita una esauriente descrizione stratigrafica e geomeccanica finalizzata all'individuazione delle caratteristiche della roccia intatta e dell'ammasso roccioso mediante la determinazione dei parametri più significativi che influenzano il comportamento dell'ammasso oggetto dell'indagine. Ciò dovrà permettere, tra l'altro, l'applicazione di diverse classificazioni geomeccaniche (Bieniawski, Barton, Hoek ecc..), secondo le indicazione che saranno impartite dalle Ferrovie.

Dovranno essere determinati i seguenti elementi caratteristici:

a) natura petrografica;

b) caratteri strutturali;

c) alterazione;

d) resistenza della roccia intatta;

e) descrizione delle discontinuità;

f) percentuale di carotaggio totale;

g) percentuale di carotaggio modificata (RQD);

h) dimensione degli spezzoni di carota.

a) Natura petrografica

La natura petrografica delle rocce deve essere definita facendo riferimento alle usuali classificazioni litologiche e descrivendone compiutamente i costituenti principali e secondari.

E' preferibile basarsi su uno schema di classifica relativamente semplice evitando dettagli di scarso rilievo tecnico.

Nella descrizione si dovrà fare riferimento, oltre che alle caratteristiche litologiche, alle modalità di formazione, alla costituzione mineralogica ed alle caratteristiche tessiturali della roccia.

b) Caratteri strutturali

Si dovrà descrivere la roccia in funzione dello stato di aggregazione, delle dimensioni, della forma e della natura dei suoi costituenti.

Possono essere utilizzati allo scopo i termini descrittivi suggeriti dall'Associazione Geotecnica Italiana e riportati nella tabella 3.7.1.2-9.

c) Alterazione

Si dovrà evidenziare la presenza o meno di fenomeni di disgregazione meccanica e/o di dissoluzione e decomposizione chimica.

Per la descrizione dell'alterazione dell'ammasso roccioso si può fare riferimento alle indicazioni dell'ISRM, riportate nella tabella 3.7.1.2-10.

Tabella 3.7.1.2-9

Struttura	Descrizione
Compatta	Non è possibile distinguere i componenti della roccia ad occhio nudo
Granulare:	È possibile distinguere ad occhio nudo i costituenti della roccia
Cristallina	I singoli elementi sono costituiti da individui cristallini
Clastica	I singoli elementi sono costituiti da frammenti di rocce o minerali
Orientata:	I singoli elementi sono più o meno allineati secondo una direzione
Laminata	La roccia si divide facilmente in frammenti con forma di lamine o scaglie più o meno estese o sottili
Scistosa	La distribuzione di minerali micacei secondo superfici piane e parallele provoca una più o meno facile suddivisibilità della roccia secondo tali superfici

Tabella 3.7.1.2-10

Definizione	Criteri di identificazione
Fresca	Non vi sono segni visibili di alterazione, possibile una leggera decolorazione sulla superficie delle maggiori discontinuità
Leggermente alterata	La decolorazione indica una alterazione della roccia e delle superfici di discontinuità. Tutto il materiale può essere decolorato e talvolta può essere all'esterno meno resistente della roccia fresca all'interno.
Moderatamente alterata	Meno della metà del materiale è decomposto e/o disgregato come un terreno. La roccia fresca è presente come uno scheletro continuo o all'interno dei singoli blocchi
Fortemente alterata	Più della metà del materiale è decomposto e/o disgregato come un terreno. La roccia fresca è presente come uno scheletro continuo o all'interno dei singoli blocchi
Completamente alterata	Tutto il materiale è decomposto e/o disgregato come un terreno. La struttura massiva originaria è ancora largamente intatta
Suolo residuale	Tutto il terreno è trasformato in terreno. La struttura dell'ammasso è distrutta. Vi è un forte cambiamento di volume ma il terreno è rimasto in posto e non ha subito trasporti significativi

d) Resistenza della roccia intatta

La resistenza della roccia intatta dovrà essere stimata attraverso prove speditive quali:

- prova con il martello di Schmidt;
- prova di carico puntuale (Point Load Strenght Test espressa in MPa)

La prova con il martello di Schmidt consiste nel misurare l'altezza di rimbalzo di una massa che percuote la superficie della roccia con una energia prefissata. Dall'altezza di rimbalzo, per mezzo di grafici predisposti, si ottiene una stima approssimativa della resistenza a compressione della roccia.

La prova di carico puntuale consiste nel portare a rottura un pezzo di carota o un frammento di forma irregolare di roccia mediante l'applicazione di un carico diametrale tra due punte di forma standardizzata.

Per rendere confrontabili i risultati, i valori ottenuti devono essere normalizzati riferendoli ad un diametro standard di 50 mm.

Dalla prova si ottiene un indice di resistenza Is50 correlato, tramite una relazione sperimentale, con la resistenza a compressione della roccia:

$$Is_{50} = F * P / (D_e)^2$$

dove:
F = fattore correttivo per la dimensione uguale a $(D_e/ 50)0.45$
P = carico applicato(MN)
De = $(4 * A / \Pi)0.45$
A = sezione minore direzione trasversale del campione (mm^2)

e) Descrizione delle discontinuità

In prima analisi si dovrà definire la continuità della roccia evidenziando la presenza o meno di discontinuità facendo riferimento alla tabella 3.7.1.2-11.

Tabella 3.7.1.2-11

Definizione	Criteri di identificazione
Roccia intatta	Prima dello scavo la roccia è priva di discontinuità, sia pure capillari
Roccia stratificata	Attraversata da superfici piane e parallele con resistenza scarsa o nulla
Roccia poco fratturata	Attraversata da poche discontinuità variamente orientate e molto distanziate
Roccia fratturata	Roccia con discontinuità ravvicinate comunque orientate (da ravvicinate a molto ravvicinate), strette (a labbra combacianti) o beanti (aperte) vuote o riempite di materiale di alterazione
Roccia completamente frantumata	Non alterata dal punto di vista chimico, con i caratteri di un prodotto di frantoio

In secondo luogo, in presenza di discontinuità si deve definirne la tipologia e le caratteristiche principali quali spaziatura, scabrezza, apertura, grado di alterazione, materiale di riempimento e inclinazione.

e.1. Tipo di discontinuità

Per la descrizione del tipo di discontinuità si potrà fare riferimento alla seguente nomenclatura:

- giunto: discontinuità di origine meccanica che interrompe la continuità di un corpo litologicamente omogeneo e lungo la quale non è avvenuto alcun scorrimento;
- piano di strato: discontinuità correlata alla variazione delle condizioni di sedimentazione, all'interno di una stessa formazione (rocce sedimentarie);
- faglia: discontinuità di origine meccanica lungo la quale è riconoscibile l'avvenuto scorrimento;
- contatto: discontinuità che segna il passaggio tra tipi litologici differenti;
- scistosità: piani di debolezza connessi all'orientazione preferenziale in letti e bande di alcuni componenti mineralogiche della roccia (rocce metamorfiche);

- clivaggio: superfici di fissilità parallele, molto ravvicinate, spesso parallele ai piani assiali delle pieghe di formazioni stratificate.

In presenza di un giunto è necessario evidenziare se esso è attribuibile all'azione meccanica del carotaggio oppure se è naturale.

Laddove possibile deve essere determinato anche il numero di famiglie di discontinuità riconoscibili.

e.2. Spaziatura

Definisce la distanza perpendicolare tra discontinuità adiacenti appartenenti alla stessa famiglia.

Per la classificazione del parametro si può fare riferimento, in accordo a ISRM, alla tabella 3.7.1.2-12.

Tabella 3.7.1.2-12

Spaziatura media (mm)	Descrizione
> 6000	Discontinuità estremamente distanziate
2000 - 6000	Discontinuità molto distanziate
600 - 2000	Discontinuità distanziate
200 – 600	Discontinuità moderatamente distanziate
60 – 200	Discontinuità vicine
20 - 60	Discontinuità molto vicine
< 20	Discontinuità estremamente vicine

L'indice della spaziatura delle fratture I_f si determina contando il numero di discontinuità comprese in una lunghezza unitaria di carota:

$$I_f = \frac{lunghezza\ \ unitaria\ \ (1\ \ m)}{numero\ \ discontinuità}$$

La determinazione di questo indice deve essere condotta subito dopo l'estrazione dei campioni dal foro in modo da evitare il conteggio delle fratture che in alcune rocce possono verificarsi per effetto dell'essiccamento.

e.3. Scabrezza

Definisce il profilo di una discontinuità dovuta alla presenza o meno di irregolarità sulla sua superficie.

La scabrezza può essere classificata secondo tre famiglie principali (piana, ondulata, a gradini) ciascuna delle quali è ulteriormente suddivisa in tre sottogruppi (rugosa, liscia, levigata).

La scabrezza di una discontinuità può essere determinata in modo speditivo e nel contempo quantitativo, mediante profilometro tascabile (pettine di Barton), confrontando il suo profilo con le classi di scabrezza proposte da Barton a ciascuna delle quali corrisponde un valore del parametro adimensionale JRC (Joint Roughness Coefficient).

e.4. Apertura

Definisce la distanza perpendicolare tra le due pareti di una discontinuità (Tabella 3.7.1.2-13).

In genere la descrizione dell'apertura di una discontinuità intersecata da un sondaggio non è sempre possibile o, comunque, non è sempre rappresentativa della reale situazione in sito.

Tabella 3.7.1.2-13

Apertura media (mm)	Descrizione
$< 0,1 \div \leq 0,5$	Discontinuità chiusa
$\geq 0,5 \div \leq 10$	Discontinuità beante
> 10	Discontinuità aperta

e.5. Grado di alterazione

Qualitativamente, il grado di alterazione all'intorno di una discontinuità può essere descritto in funzione di quanto indicato nella tabella 3.7.1.2-14, proposta da ISRM.

Tabella 3.7.1.2-14

Termine	Descrizione
Roccia fresca	Nessun segno visibile di alterazione
Roccia decolorata	Si osserva un cambiamento di colore rispetto alla roccia inalterata. Si deve evidenziare se il cambiamento di colore interessa tutta la superficie oppure solo qualche componente minerale
Roccia decomposta	La roccia è ridotta come un terreno. La struttura originaria è intatta ma alcuni o tutti i costituenti minerali sono decomposti
Roccia disintegrata	La roccia è ridotta come un terreno. La struttura originaria è intatta. La roccia è friabile ma i componenti minerali non sono decomposti.

Quantitativamente, il grado di alterazione di una discontinuità può essere stimato mediante la prova con il martello di Schmidt che permettere di determinare l'indice sclerometrico.

Utilizzando l'apposito diagramma, si ricava la resistenza a compressione della parete della discontinuità (JCS: Joint wall Compressive Strenght).

Il rapporto tra la resistenza della parete di una discontinuità con quella di una superficie intatta della roccia può essere rappresentativo dello stato di alterazione della discontinuità.

e.6. Materiale di riempimento

E' rappresentato dal materiale di varia natura interposto tra le due superfici di una discontinuità.

Può essere costituito da ricristallizzazioni mineralogiche (calcite), da minerali accessori (clorite, talco) oppure da argilla, limo breccia di frizione ecc..

Il materiale di riempimento dovrà essere descritto sia in termini di composizione sia in termini di spessore in mm.

Se il riempimento è di tipo argilloso, dovrà essere valutata anche la resistenza al taglio mediante prova con penetrometro tascabile, oppure attraverso una stima mediante quanto indicato nella tabella 3.7.1.2-15.

Tabella 3.7.1.2-15

Denominazione	Criteri di identificazione	Resistenza a compressione (MPa)
Argilla molto morbida	Facilmente penetrabile con il pugno	< 0,025
Argilla morbida	Facilmente penetrabile con il pollice	0,025 – 0,05
Argilla consistente	Penetrabile con il pollice con sforzo moderato	0,05 – 0,1
Argilla rigida	Intaccabile con il pollice ma con grande sforzo	0,1 – 0,25
Argilla molto rigida	Facilmente intaccabile con l'unghia del pollice	0,25 – 0,5
Argilla dura	Intaccabile con difficoltà con l'unghia del pollice	> 0,5

e.7. Inclinazione

L'inclinazione della discontinuità sarà espressa come angolo, misurato in senso orario mediante goniometro, tra la perpendicolare dell'asse di perforazione ed il piano della discontinuità.

f) Percentuale di carotaggio totale

E' data dal rapporto percentuale tra la lunghezza della carota (sommatoria di tutti gli spezzoni di carota compresi i tratti recuperati in frammenti) e la lunghezza della manovra di carotaggio.

g) Percentuale di carotaggio modificata (RQD)

L'indice RQD (Rock Quality Designation) è definito come rapporto percentuale tra la somma delle singole lunghezze dei pezzi di carota maggiori o uguali a 10 cm e la lunghezza del tratto carotato.

$$RQD = \frac{\Sigma l_i}{l_f} \cdot 100 \quad |\%|$$

dove
l_i = singole lunghezze degli spezzoni di carota ≥10 cm
l_f = lunghezza totale 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 pertanto i pezzi corrispondenti devono essere messi insieme e contati come un unico pezzo.

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.

In caso di rotture oblique, la lunghezza del singolo spezzone di carota deve essere misurato in corrispondenza dell'asse della carota.

Tabella 3.7.1.2-16

RQD (%)	Qualità della roccia
0-25	molto scadente
25-50	scadente
50-75	discreta
75-90	buona
90-100	ottima

h) Dimensione degli spezzoni di carota

Il rilievo della dimensione lineare degli spezzoni di carota integra le informazioni derivate dall'indice RQD.

La misura deve essere eseguita lungo l'asse degli spezzoni di carota non considerando eventuali fratture meccaniche.

Si dovranno distinguere tre classi di lunghezza degli spezzoni di carota:

- spezzoni con dimensioni inferiori a 5 cm;
- spezzoni con dimensioni tra 5 e 10 cm;
- spezzoni con dimensioni superiori a 10 cm.

Documenti da consegnare

Per ogni perforazione eseguita 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;
   - inclinazione del foro mediante misure dei cateti orizzontale e verticale del triangolo rettangolo avente per ipotenusa la direzione di perforazione;
   - 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 secondo le specifiche su indicate e con particolare riferimento a:
     - in terreni non lapidei:
       - colore/i prevalente/i della formazione;
       - composizione granulometrica approssimata nei termini correnti (blocchi, ciottoli, ghiaia, sabbia, limo, argilla), indicando tra l'altro il diametro massimo della frazione grossolana, la tessitura, la presenza di sostanze organiche o torbe, fossili, legno ecc.;
       - caratteristiche di consistenza (terreni coesivi) nei termini correnti (tenero, plastico, consistente, molto consistente) 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 e caratteri strutturali;
       - durezza;
       - colore;

- natura e quantità del cemento, della matrice e dello scheletro;
- natura ed ubicazione delle discontinuità presenti, loro spaziatura ed apertura nonché loro inclinazione rispetto all'asse del sondaggio;
- presenza di materiale di riempimento e natura dello stesso;
- grado di alterazione;
- recupero di carotaggio corretto (RQD), percentuale di carotaggio totale e dimensione degli spezzoni di carota;
- eventuali anormalità o difficoltà particolari riscontrate durante la perforazione nonché qualsiasi altra indicazione ritenuta utile dall'operatore o dalle Ferrovie ai fini dell'indagine.

3.7.1.2.1 Sondaggio per Indagini Ambientali

Nel caso di sondaggi geognostici a carotaggio continuo per indagini ambientali, l'esecuzione di tutte le attività dovrà essere svolta in osservanza alla normativa vigente in materia ambientale.

Tutte le fasi di perforazione e di campionamento dovranno essere eseguite da personale specializzato dotato di strumentazione e attrezzature adeguate, costruiti con materiali e modalità tali che il loro impiego non modifichino le caratteristiche delle matrici ambientali e la concentrazione delle sostanze contaminanti.

Si dovrà evitare la diffusione della contaminazione nell'ambiente circostante e nella matrice ambientale campionata (cross-contamination) durante le operazioni di perforazione, allestimento e prelievo dei campioni. A tal fine, saranno controllati i circuiti idraulici delle macchine e di tutte le attrezzature utilizzate durante le perforazioni e il campionamento per evitare le perdite di olio, lubrificanti, carburanti e altre sostanze; nel caso di perdite e/o fuoriuscite accidentali si dovrà rimuoverle prontamente ed accertarsi che queste non abbiano prodotto contaminazione del campione o del terreno.

Per la decontaminazione delle attrezzature dovrà essere predisposta un'area delimitata e opportunamente impermeabilizzata, posta a una distanza dall'area di prelievo-campionamento sufficiente a evitare la diffusione dell'inquinamento delle matrici campionate.

A fronte di quanto detto, saranno eseguiti i lavaggi di: carotiere, aste di perforazione e rivestimenti metallici, prima dell'inizio della perforazione e a ogni manovra di perforazione; la pulizia dei contenitori e dell'impianto per l'eventuale acqua di circolazione di perforazione, prima dell'inizio di ogni sondaggio.

Al termine di ogni perforazione saranno decontaminati tutti gli attrezzi e gli utensili che hanno operato sia in superficie sia in profondità. Tali operazioni saranno compiute con acqua in pressione per mezzo di una idropulitrice a vapore. Le apparecchiature e gli attrezzi dovranno essere asciugati mediante evaporazione naturale o in caso di condizioni climatiche avverse con carta assorbente esente da contaminazione.

In caso di eventi meteorici le operazioni di decontaminazione dovranno essere effettuate al riparo dalle acque di pioggia al fine di garantire assenza di alterazioni del campione. Utensili non facilmente pulibili (funi, guanti) dovranno essere sostituiti con nuovi al termine di ogni trivellazione.

Al termine delle operazioni o in attesa di essere riutilizzati gli attrezzi e le apparecchiature decontaminati dovranno essere conservati in condizioni tali da evitare la contaminazione.

I sondaggi saranno eseguiti a rotazione e a carotaggio continuo; le attrezzature utilizzate dovranno permettere la perforazione in terreno di qualsiasi natura.

Le attrezzature dovranno essere in perfette condizioni di manutenzione e operatività; sarà facoltà delle Ferrovie far sostituire il materiale di perforazione non conforme alle presenti specifiche e/o ritenuto non idoneo ai fini della tipologia d'indagine in oggetto.

I sondaggi saranno preferibilmente realizzati con una sonda meccanica a rotazione, senza l'uso di fluidi di perforazione, del diametro di 101 mm e rivestimento a seguire del diametro di 127 mm.

Le perforazioni dovranno essere eseguite a secco con estrusione delle carote tramite pistone.

In caso di necessità, previa autorizzazione delle Ferrovie, potrà essere utilizzata come fluido di perforazione l'acqua, per la quale sarà verificata, a cura e oneri dell'Esecutore, la provenienza e la qualità mediante lo svolgimento regolare di analisi chimiche.

Si dovrà avere cura di procedere a velocità tale da limitare l'attrito tra terreno e mezzo campionatore per evitare il riscaldamento del materiale prelevato, registrando la temperatura del materiale estratto.

La scelta del carotiere più idoneo sarà condizionata dalla tipologia dei litotipi presenti.

Tutte le operazioni di perforazione saranno coordinate dal geologo, responsabile tecnico, che redigerà la stratigrafia intercettata segnalando subito, qualora individuabili visivamente o per particolari caratteristiche organolettiche, la presenza di eventuali livelli contaminati.

Dovrà essere segnalata e registrata sul giornale di campo ogni venuta d'acqua nel foro, specificando la profondità e stimando l'entità del flusso.

Nel caso di perforazioni di durata superiore alla giornata, si dovrà eseguire la misura del livello piezometrico a fine giornata e si avrà cura di proteggere il foro da eventuali contaminazioni esterne. Il livello piezometrico sarà registrato anche il giorno successivo, alla ripresa delle operazioni di perforazione e al termine delle stesse, annotando il tutto sui moduli di campagna.

Le perforazioni che non saranno attrezzate a piezometro dovranno essere riempite e sigillate utilizzando malta di cemento-bentonite.

Per il carotaggio si impiegheranno carotieri semplici, scomponibili, doppi o tripli in funzione delle caratteristiche granulometriche dei materiali da attraversare (compresi riporti grossolani o solette) con diametro minimo di 101 mm in modo da garantire il recupero di una percentuale di materiale non inferiore all'90%.

Le pareti del foro saranno sostenute da tubi di rivestimento in acciaio di opportuno diametro, infissi per quanto possibile a secco in tutto il tratto insaturo; qualora non fosse possibile l'avanzamento a secco le Ferrovie potranno autorizzare l'impiego di acqua pulita come fluido di perforazione, avendo cura che la pressione del fluido sia la minore possibile.

La quota del fondo foro sarà verificata tramite scandaglio a filo graduato.

Apposite manovre di pulizia saranno eseguite qualora vi sia differenza tra quota raggiunta con la perforazione e quota misurata con scandaglio.

Particolare cura inoltre dovrà essere posta nell'evitare possibili contaminazioni delle carote estratte da parte di lubrificanti provenienti dall'attrezzatura di perforazione. Sarà pertanto assolutamente vietato l'impiego di lubrificanti di origine non naturale per i filetti, l'impiego di corone e scarpe verniciate e dovranno essere assolutamente evitate perdite derivanti dagli impianti idraulici.

La canaletta e tutti gli utensili di uso dovranno essere lavati prima del successivo utilizzo.

Le carote estratte dovranno essere conservate in cassette catalogatrici in legno e/o materiale plastico, dotate di scomparti di lunghezza pari ad un metro e coperte da un telo in nylon.

Le cassette catalogatrici dovranno essere trasportate e stoccate in luoghi riparati dal sole e dalle intemperie.

Documenti aggiuntivi da consegnare

Per ogni sondaggio di tipo ambientale, in aggiunta a quella prevista per i sondaggi non ambientali, dovrà essere consegnata la seguente documentazione:

1) Una relazione conclusiva e riepilogativa di tutte le attività svolte, contenente:
   - informazioni relative all'ubicazione del sito, con planimetria riportante ubicazione dei punti di indagine con coordinate planimetriche e altimetriche misurate con GPS;
   - procedure di campionamento seguite e modalità di gestione dei campioni;
   - eventuali procedure di decontaminazione adottate;
2) La Scheda stratigrafica redatta per ciascun sondaggio, dovrà essere integrata con le informazioni relative alla eventuale indicazione di livelli contaminati. In tale scheda saranno riportati i seguenti dati:
   - successione stratigrafica locale con riferimento ai passaggi tra terreno naturale e di riporto;
   - presenza di livelli particolari o ritenuti significativi ai fini della presenza e diffusione di sostanze contaminanti;
   - presenza di manufatti connessi a servizi civili ed industriali (fognature, condotte, tubi, tunnel, ecc.);
   - osservazioni in merito alla falda idrica, con l'annotazione delle letture del livello piezometrico nel foro di sondaggio rilevate ad inizio/fine di ogni giornata lavorativa;
   - anche per la falda andranno segnalate eventuali evidenze, visive od olfattive, di potenziali contaminazioni;
   - in caso di strati di riporto, dovrà essere indicata la percentuale di presenza di materiali antropici;
   - tutte le anomalie riguardanti la perforazione (come ad esempio franamenti o rifluimenti all'interno del foro, perdite di fluido di perforazione, venute d'acqua, presenza di acque di falda, prove e campionamenti non terminati, presenza di gas, variazione nella velocità di avanzamento, ecc..).

Riferimenti normativi:

- Associazione Geotecnica Italiana (1977). Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche.
- 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.
- Bollettino del Servizio Geologico d'Italia, Vol. LXXXIX (1968). Codice italiano di nomenclatura stratigrafica

3.7.1.3 Cassette catalogatrici atte alla conservazione di almeno 5 metri di carote di terreno provenienti da sondaggi a carotaggio continuo, compresa la fotografia digitale.

Le carote estratte nel corso della perforazione dovranno essere sistemate in apposite cassette catalogatrici (in legno, metallo, plastica pressofusa o similari), munite di scomparti divisori e coperchio apribile a cerniera; le cassette dovranno essere resistenti in modo tale da non subire danni negli spostamenti in cantiere per il rilievo del loro contenuto o durante le operazioni di impilamento una sull'altra per il loro stoccaggio.

Gli scomparti dovranno avere una lunghezza interna di 1 m tale da consentire in ogni cassetta la conservazione di 5 m (cinque metri) di carotaggio. Sul fondo delle cassette sarà posto un foglio di plastica di dimensioni tali da poter essere rivoltato a protezione delle carote alloggiate

Le carote coesive verranno scortecciate mentre quelle lapidee dovranno essere lavate.

I recuperi delle singole manovre dovranno essere evidenziati da setti separatori recanti l'indicazione delle rispettive quote da riferirsi sempre alla bocca foro.

Negli scomparti saranno inseriti blocchetti di legno o simili a testimoniare gli spezzoni di carota prelevati ed asportati per il laboratorio, con l'indicazione delle quote di inizio e fine dei suddetti prelievi.

Le singole cassette verranno fotografate con macchina fotografica digitale a colori entro 24 ore dal loro

completamento.

Nelle foto dovrà essere ben visibile l'etichetta dove sono apposte le indicazioni riguardanti il cantiere, il sondaggio e le quote di riferimento ed un metro per i riferimenti di scala.

Le fotografie dovranno fornire una visione chiara delle carote contenute; si consiglia quindi una foto presa dall'alto e scattata da una distanza non superiore a 2 m, evitando aberrazioni prospettiche o ombre riflesse che condizionino la resa cromatica della fotografia stessa, che dovrà essere nitida e con i riferimenti scritti ben leggibili.

Le fotografie dovranno essere consegnate su supporto cartaceo (formato minimo 10x15 cm) ed in formato digitale (Jpeg, Tiff) registrate in Cd-rom o DVD.

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.

3.7.1.4 Prelievo a rotazione di campioni indisturbati o a limitato disturbo.

Il prelievo dei campioni dovrà essere eseguito di norma in terreni coesivi di elevata consistenza e talvolta anche i materiali granulari compatti con matrice limo-argillosa o con un certo grado di cementazione.

I campionatori a rotazione consistono in doppi carotieri speciali a due pareti indipendenti. La parete interna non rotante è munita di una scarpa tagliente atta a penetrare a pressione per un breve tratto e quindi sporgente rispetto alla corona della parete esterna rotante. Tale sporgenza è prefissata a priori (decrescente con l'aumentare della compattezza del terreno) nel campionatore tipo Denison o autoregolabile mediante un dispositivo a molla nel campionatore tipo Mazier modificato.

Nel campionatore tipo Denison, un lamierino sottilissimo o un tubo di PVC interno al tubo non rotante funge da contenitore del campione.

Nel campionatore tipo Mazier modificato, il tubo interno non rotante costituito da un tubo in acciaio di qualità (acciaio inossidabile, cadmiato o comunque trattato in modo opportuno) funge da contenitore del campione.

Il contenitore del campione, subito dopo il prelievo, deve essere sigillato ermeticamente con coperchio e paraffina onde mantenere invariate le caratteristiche meccaniche ed il contenuto di umidità del campione stesso.

Il numero e la profondità di prelievo di ogni singolo campione dovranno essere stabiliti, o comunque approvati, dalle Ferrovie.

I campioni, dovranno avere lunghezza non inferiore a cm 60 e diametro non inferiore a mm 83. Il prelievo del campione dovrà essere preceduto da accurata pulizia del foro di sondaggio e dalla misura diretta della profondità di campionamento da confrontarsi con la profondità raggiunta dalla perforazione al fine di verificare l'assenza di caduta di terreno a fondo foro. Per ogni campione prelevato dovranno essere riportate le relative caratteristiche sul documento stratigrafico relativo al sondaggio nel quale esso è stato prelevato.

3.7.1.5 Prelievo a pressione di campioni indisturbati con campionatore tipo Shelby.

Il prelievo dei campioni di cui alla presente voce dovrà essere eseguito impiegando campionatori a pareti sottili di tipo aperto (campionatore Shelby) e dovrà essere effettuato di norma in presenza di terreni coesivi di medio-bassa consistenza o a grana fine di scarso addensamento.

Il campionatore Shelby è composto da una testa con valvola a sfera e relativi sfiati collegata con viti a brugola al tubo di infissione che funge da contenitore del campione di terreno. Lo spessore di tale tubo può variare normalmente da 2 a 3 mm.

Il tubo di infissione, in acciaio di qualità, deve essere resistente alla corrosione ed adeguatamente levigato all'interno (acciaio inossidabile o cadmiato o comunque trattato in modo opportuno).

Alla base il tubo deve risultare tagliente con un angolo di taglio della scarpa compreso tra 4° e 15°.

Il contenitore del campione, subito dopo il prelievo, deve essere sigillato ermeticamente con coperchio e paraffina onde mantenere invariate le caratteristiche meccaniche ed il contenuto di umidità del campione stesso.

Il numero e la profondità di prelievo di ogni singolo campione dovranno essere stabiliti, o comunque approvati, dalle Ferrovie. I campioni, dovranno avere lunghezza non inferiore a cm 40 e diametro non inferiore a mm 83. Per ogni campione prelevato dovranno essere riportate le relative caratteristiche sul documento stratigrafico relativo al sondaggio nel corso del quale esso è stato prelevato.

3.7.1.6 Prelievo a pressione di campioni indisturbati con campionatore tipo Osterberg.

Il prelievo dei campioni di cui alla presente voce dovrà essere eseguito impiegando campionatori a pistone ad infissione idraulica, di norma in presenza di terreni coesivi di medio-bassa consistenza o a grana fine di scarso addensamento.

II campionatore Osterberg è costituito da un pistone mobile, solidale al tubo di prelievo, che scorre sull'asta interna che collega la testa del campionatore al pistone fisso.

La pressione sul pistone mobile viene esercitata attraverso le aste di collegamento con acqua in pressione. Uno sfiato posto sull'asta di collegamento testa campionatore/pistone fisso appena sopra al pistone fisso, permette l'azzeramento della pressione a fine corsa.

Durante il campionamento bisognerà operare in modo che l'avanzamento a pressione sia continuo (senza interruzioni) ed il più rapido possibile onde minimizzare l'entità dei disturbi, particolarmente nel caso di terreni coesivi di bassa consistenza.

Il contenitore del campione, subito dopo il prelievo, deve essere sigillato ermeticamente con coperchio e paraffina onde mantenere invariate le caratteristiche meccaniche ed il contenuto di umidità del campione stesso.

Il numero e la profondità di prelievo di ogni singolo campione dovranno essere stabiliti, o comunque approvati, dalle Ferrovie. I campioni, dovranno avere lunghezza non inferiore a cm 40 e diametro non inferiore a mm 83. Per ogni campione prelevato dovranno essere riportate le relative caratteristiche sul documento stratigrafico relativo al sondaggio nel corso del quale esso è stato prelevato.

3.7.1.7 Prelievo di un campione rimaneggiato di terreno o di uno spezzone di carota lapidea nel corso di sondaggi, compresa la conservazione in idonei contenitori.

Il prelievo di cui alla presente voce interessa il materiale prelevato durante il carotaggio continuo e non oggetto di campionamento indisturbato.

Nel caso di terreno coesivo il campione deve essere ripulito dalla parte esterna più rimaneggiata e conservato in contenitore a tenuta quali doppi sacchetti di polietilene o barattoli con tappo a vite. Il campione dovrà

contenere tutti i dati per la sua identificazione.

Nel caso di terreno granulare il campione dovrà essere prelevato in quantità rappresentative dell'assortimento granulometrico; dovranno essere scartate quelle componenti chiaramente dovute alle operazioni di carotaggio. La conservazione avverrà in maniera analoga a quella prevista per i campioni coesivi.

In terreni cementati e in rocce si potranno prelevare dal carotaggio spezzoni di lunghezza > 15 cm, purché rappresentativi del tipo litologico perforato. Gli spezzoni di carota devono essere paraffinati ed inseriti in un involucro rigido in PVC di protezione. Il campione stesso dovrà poi essere imballato e protetto dai possibili danneggiamenti durante il suo trasporto al laboratorio geotecnico.

3.7.1.8 Perforazione a carotaggio continuo, ad andamento anche inclinato, eseguita con corona diamantata in corrispondenza di opere d'arte e strutture in elevazione o in fondazione.

La perforazione a carotaggio continuo con corona diamantata si esegue per la determinazione dello spessore e delle caratteristiche delle murature (in senso lato) di opere d'arte in elevazione, in fondazione e pavimentazioni.

A. Attrezzatura

L'attrezzatura deve avere le seguenti caratteristiche minime:

- carotatrice a rotazione azionata da motore elettrico, idraulico o a combustione interna;
- tubo in acciaio con corona diamantata;
- tubi di prolunga;
- sistema di ancoraggio o di contrasto.

La carotatrice deve essere montata su una slitta orientabile in qualsiasi direzione.

La potenza della carotatrice deve essere adeguata alla profondità da raggiungere ed alle caratteristiche di consistenza e durezza dei materiali da attraversare.

L'avanzamento potrà essere meccanico od automatico ed in ogni caso dovrà essere regolabile.

La carotatrice deve permettere l'utilizzo di corone diamantate di diametro diverso, secondo le disposizioni delle Ferrovie, comunque non inferiore a 25 mm .

Le corone diamantate, di norma, saranno costituite da tubi in acciaio con placchette diamantate fissate all'estremità come una merlettatura; i cristalli di diamante industriale sono microscopici ed affiorano man mano che si consuma la lega metallica.

La corona diamantata dovrà essere raffreddata ad aria oppure ad acqua.

B. Modalità esecutive

Se non diversamente richiesto dalle Ferrovie, il carotaggio dovrà essere eseguito perpendicolarmente alla superficie.

Per una corretta esecuzione del carotaggio è necessario che la carotatrice sia ancorata saldamente alla struttura da indagare. L'ancoraggio può essere eseguito mediante una struttura di contrasto oppure mediante bloccaggio della carotatrice con l'inserimento di ganci d'acciaio.

La velocità di avanzamento della progressione dovrà essere regolata, in funzione della consistenza del materiale, in maniera tale da avere un carotaggio di ottima qualità con percentuale di recupero maggiore o uguale al 95%.

Le carote via via estratte devono essere sistemate nelle cassette catalogatrici con tutte le indicazione per la

corretta identificazione dell'intervallo di profondità di ciascun singolo tratto di carotaggio.

Il foro di sondaggio se non attrezzato con strumentazione di monitoraggio o di prove idrauliche o geotecniche va opportunamente intasato con malta cementizia da fondo foro verso la superficie.

Documenti da consegnare

Per ogni foro eseguito dovranno essere consegnati i seguenti elaborati:

a) Colonna stratigrafica con esplicite indicazioni relative a:
   - cantiere;
   - numero e ubicazione precisa del foro di sondaggio;
   - data di inizio e di ultimazione;
   - attrezzatura e sistema di perforazione;
   - utensile di perforazione;
   - fluido di raffreddamento;
   - quota assoluta della bocca foro;
   - profondità e quota assoluta iniziale e finale di ogni strato di materiale attraversato;
   - percentuali di carotaggio e RQD;
   - eventuali anormalità o difficoltà riscontrate durante la perforazione nonché qualsiasi altra indicazione ritenuta utile dall'Esecutore ai fini dell'indagine.
   - descrizione del materiale carotato:
     - Muratura:
       - Integrità carote di muratura;
       - Presenza di malta;
       - Stato di alterazione murature e malte;
       - Stato di fratturazione murature (orientamento: longitudinale rispetto agli elementi, perpendicolare agli elementi e trasversale);
       - Presenza di acqua in foro;
       - Elementi granulari di appoggio fondazione;
       - Presenza di riempimento a sacchi all'interno di opere murarie in elevazione o fondazione;
       - Presenza di elementi di sottofondazione;
       - Presenza armature;
     - Calcestruzzo:
       - Integrità carote di calcestruzzo;
       - Stato di alterazione del calcestruzzo (ettringite, carbonatazione, ecc.);
       - Stato di fratturazione (studio fratture, riempimento, orientazione , apertura, ecc.);
       - Presenza armature;
       - Valutazione costituenti cls (inerti, filler, cemento);
       - Presenza di acqua nel foro;
       - Presenza di elementi di fondazione;

3.7.2 SCAVI ESPLORATIVI DI SUPERFICIE E PRELIEVO DI CAMPIONI

3.7.2.1 Prelievo di campioni indisturbati da scavo esplorativo di superficie o da parete di fronte di scavo.

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.

Tale campione dovrà essere imballato in modo tale da non subire danneggiamenti durante il trasporto e spedito al laboratorio geotecnico.

A. Attrezzatura

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

- altezza: h (≥) 125÷200 mm;
- diametro interno: Øi = 94 mm;
- spessore delle pareti: s = 3 mm;
- angolo di scarpa: $\alpha = 60°$.

Nel caso 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 (≥) 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 delle Ferrovie.

Il cilindro campionatore dovrà essere infisso a pressione costante nel terreno senza movimenti di rotazione e/o oscillazione. Al termine dell'infissione il terreno all'intorno del campionatore 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 campionatore.

Le estremità del campionatore 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 procedura:

- 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.

Il numero dei campioni indisturbati e la profondità di ogni singolo prelievo dovranno essere stabiliti o comunque approvati dalle Ferrovie.

Documenti da consegnare

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

a) data di prelievo;
b) cantiere;
c) numero ed ubicazione del pozzetto esplorativo o del fronte di scavo;
d) numero del campione;
e) quota o profondità di prelievo;
f) parte alta del campione;
g) fotografia a colori del campione e della fustella in posizione di prelievo
h) documentazione della formazione da cui viene prelevato il campione. La descrizione dovrà contenere almeno gli elementi di seguito citati:
   - terre: litologia, granulometria e classificazione, addensamento o consistenza, colore, stato idrico, alterazione, contenuto organico, prove con pocket penetrometer e/o Vane Test, stratificazione;
   - roccia: litologia, classificazione, stato fatturazione, stato alterazione, colore, porosità, densità, stato idrico.

Riferimenti normativi:

- Associazione Geotecnica Italiana (1977). Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche.
- CNR-BU n. 25 (1972). Campionatura di terre e terreni.
- Bollettino del Servizio Geologico d'Italia, Vol. LXXXIX (1968). Codice italiano di nomenclatura stratigrafica

3.7.2.2 Prelievo di campioni di aggregati depositati in cumulo all'interno di carri ferroviari o di autocarri, presso impianti di frantumazione (produzione) o in opera come massicciata ferroviaria.

Lo scopo del prelievo è di ottenere un campione rappresentativo delle caratteristiche di un aggregato in opera (ad esempio massicciata ferroviaria) o stoccato in deposito.

A. Attrezzatura

Possono essere utilizzate le seguenti attrezzature:

- paletta per campionamento con sezione trasversale rettangolare;
- paletta per campionamento con sezione trasversale circolare;
- pala;
- telaio di campionamento dotato di fiancate parallele cha si adattano al nastro trasportatore e di lunghezza pari all'ampiezza del nastro stesso;
- scatola di campionamento di capacità pari a due volte il volume di materiale da prelevare e di larghezza minima pari a tre volte la dimensione massima dell'aggregato;
- tubo di campionamento di lunghezza variabile tra 1 e 2 metri e di diametro minimo pari a tre volte la dimensione massima dell'aggregato.

Possono essere utilizzate altre attrezzature che siano conformi alla normativa citata nei riferimenti e che sia preventivamente autorizzata dalle Ferrovie.

B. Modalità esecutive

In generale le variazioni di campionamento dovute alla eterogeneità del materiale possono essere ridotte ad un livello accettabile eseguendo un numero adeguato di prelievi.

I prelievi devono essere scelti a caso nell'ambito di un quantitativo di materiale di cui il campione globale deve essere rappresentativo. Il numero dei punti di prelievo e la loro distribuzione per ottenere il campione globale rappresentativo dovranno essere preventivamente approvate dalle Ferrovie.

La quantità del campione globale deve essere calcolata in funzione del tipo e del numero delle prove da eseguire, delle dimensioni degli aggregati e della loro massa volumica.

Nel caso di campionamento di materiale in cumulo, devono essere prelevati campioni di dimensioni approssimativamente uguali da punti differenti a differenti altezze o profondità distribuite su tutto il volume.

Nel caso di campionamento da carri ferroviari o autocarri, si può seguire il criterio precedentemente descritto se il materiale fluisce liberamente dai cassoni/vagoni. Se, invece, il materiale rimane stoccato nel vagone o nel cassone è preferibile utilizzare attrezzature come il tubo di campionamento inserendolo verticalmente per tutta la profondità dell'aggregato.

Documenti da consegnare

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

- data e luogo di prelievo;
- cantiere o area di prelievo;
- planimetria con l'indicazione del numero e dell'ubicazione dei punti di prelievo;
- numero o sigla identificativa del campione;
- fotografia a colori del campione e dei punti di prelievo.

Riferimenti normativi:

- UNI EN 932-1 (1998). Metodi di prova per determinare le proprietà generali degli aggregati. Metodi di campionamento.
- UNI EN 13450 (2003). Aggregati per massicciate per ferrovie.

3.7.2.3 Prelievo di un campione di terreno per indagini ambientali, compresa la conservazione in idonei contenitori.

Il prelievo di campioni di terreno interessa il materiale prelevato durante l'esecuzione di carotaggi di tipo ambientale.

Nel caso sia previsto il prelievo di campioni destinati anche all'analisi di sostanze volatili, si procederà innanzitutto al prelievo puntuale immediatamente dopo l'estrazione della carota e in particolare:

- nel caso di impiego di carotieri apribili longitudinalmente subito dopo l'apertura del campionatore;
- nel caso di campione ottenuto con fustella in PVC subito dopo che la fustella sarà estratta e sezionata longitudinalmente.

A. Attrezzature e Modalità esecutive

Il campione sarà inserito in appositi contenitori tipo vials.

Per i campioni da sottoporre ad analisi chimiche di sostanze non volatili, si procederà omogeneizzando il materiale di carota estratto, previa posa su telo in nylon e privando il materiale della frazione superiore a 2 cm con l'impiego di setaccio.

Dal passante verrà prelevato un campione di circa 1 chilo che sarà riposto in appositi contenitori in vetro sterilizzati e a tenuta.

Il campione dovrà contenere tutti i dati per la sua identificazione.

I contenitori in vetro dovranno essere etichettati riportando i seguenti dati:

- committente;
- luogo, data, numero del sondaggio;
- profondità di campionamento.

Ogni campione prelevato, sia per analisi di sostanze volatili che non volatili, sarà suddiviso in due aliquote, una per l'analisi da condurre ad opera del laboratorio incaricato, ed una per archivio a disposizione per eventuali analisi di verifica e controllo.

Dopo il campionamento, il restante materiale dovrà essere conservato nelle apposite cassette catalogatrici, salvo altre indicazioni.

Il telo di nylon dovrà esser sostituito con uno nuovo ad ogni campionamento.

Gli attrezzi utilizzati per il campionamento dovranno essere opportunamente lavati con idropulitrice ed asciugati prima del campionamento successivo.

Lo schema di prelievo dei campioni di terreno da adottare, salvo diverse indicazioni delle Ferrovie, è il seguente:

- 1 campione medio, campionato ogni metro di perforazione nella fascia di profondità tra 0,00 m e 5,00 m da piano campagna.
- salvo diversa indicazione delle Ferrovie, saranno esaminati in prima istanza soltanto i campioni dei primi tre metri di profondità dal p.c.;
- i campioni più profondi saranno analizzati solo dopo l'accertamento dell'eventuale superamento del limite di soglia degli analiti esaminati di cui alla tabella B dell'allegato 5 alla parte IV del D.lgs 152 e smi.
- qualora nel corso della perforazione si dovessero rinvenire materiali assimilabili a rifiuti si procederà al campionamento del tal quale secondo quanto previsto dalla normativa vigente.

3.7.3 PRELIEVO DI CAMPIONI IN AMBIENTE COSTIERO E FLUVIALE

3.7.3.1 Prelievo di campioni di terreno sciolto in corrispondenza di una spiaggia, di una spiaggia sommersa, del fondo di un alveo fluviale o della sponda di un corso d'acqua .

Il campionamento di terreno sciolto deve consentire, attraverso l'analisi granulometrica, di conoscere le caratteristiche dimensionali dei materiali prelevati in corrispondenza di una spiaggia, di una spiaggia sommersa, del fondo di un alveo fluviale o della sponda di un corso d'acqua.

Le modalità di campionamento per il rilievo della granulometria devono essere diversificate in relazione alle dimensioni ed all'assortimento dei sedimenti secondo i seguenti metodi:

a) prelievo con benna a tenuta;
b) prelievo manuale;
c) prelievo con il metodo della griglia campionamento.

A. Attrezzature e modalità esecutive

A.a Prelievo con benna a tenuta

Questo sistema di prelievo è consigliato in presenza di depositi sommersi a granulometria sabbioso-limosa.

Si esegue con campionatore a benna tipo Van Veen o similare installato in genere sopra un'imbarcazione e in alternativa su un ponte o in casi particolari da guado.

Il campionatore può essere manovrato manualmente o mediante argano e le operazioni di campionamento devono essere ripetute fino al raggiungimento del quantitativo minimo di 2 kg di materiale scolato, curando l'esecuzione delle manovre di recupero del dispositivo per evitare il dilavamento del campione.

A.b Prelievo manuale

Questo metodo di prelievo si adotta in presenza di depositi emersi a granulometria eterogenea sabbioso-limoso-ghiaiosa.

Si dovrà prelevare un quantitativo minimo di 2 kg di materiale utilizzando attrezzi quali una paletta, un badile ecc. curando la corretta rappresentatività del campione.

A.c Prelievo con il metodo della griglia di campionamento

Questo sistema si adotta in presenza di depositi emersi a granulometria grossolana (ciottoli) con una pezzatura media pari o superiore a 10 cm circa.

In tale caso è opportuno procedere alla valutazione diretta della distribuzione dei diametri applicando il metodo della griglia di campionamento. Il metodo prevede la stesa, su un'area granulometricamente omogenea, di un reticolo a maglia quadrata di lato 0,5 m, per un'estensione minima di 5x5 m. In corrispondenza dei vertici del reticolo si procede al prelievo dei ciottoli e alla misura dei tre diametri caratteristici (assimilando ogni elemento a un ellissoide) mediante compasso comparatore.

I campioni di terreno sciolto dovranno essere prelevati, di norma e salvo diversa disposizione delle Ferrovie, lungo l'allineamento di un profilo batimetrico-celerimetrico rilevato. Tutti i campioni dovranno essere posti in contenitori stagni etichettati con il numero distintivo, il riferimento al profilo batimetrico, la posizione in ascissa rispetto al picchetto di riferimento a terra sul profilo rilevato, la profondità di prelievo.

Il campione prelevato dovrà essere imballato in modo da non subire danneggiamenti per il trasporto ad un laboratorio geotecnico.

Documenti da consegnare.

Al termine delle operazioni dovranno essere consegnati i seguenti elaborati:
a) Relazione generale sulle operazioni di prelievo;
b) Planimetria in scala da concordare con le Ferrovie con l'indicazione dell'ubicazione dei profili/sezioni rilevate , recante l'indicazione dei punti di prelievo con i rispettivi numeri distintivi;
c) Elenco dei campioni prelevati con l'indicazione dei relativi dati identificativi, dell'ubicazione e della data del prelievo, del volume scolato, della classificazione granulometrica approssimativa;
d) Ubicazione della griglia di campionamento, in scala da concordare con le Ferrovie, con l'indicazione dei risultati delle misure eseguite.

3.7.4 OPERE DI COMPLETAMENTO E SISTEMAZIONE

3.7.4.1 Installazione all'interno di fori di sondaggio già eseguiti, di tubi in materia plastica per esecuzione di prospezioni geofisiche in foro.

A. Attrezzatura

Per l'esecuzione di prospezioni geofisiche in foro di sondaggio, occorre inserire in questi ultimi tubi in materiale plastico tipo P.V.C., giuntati con manicotto e mastice, aventi diametro interno non inferiore a 80 (ottanta) millimetri e spessore non inferiore a 3 (tre) millimetri.

B. Modalità esecutiva

La posa in opera del tubo in p.v.c. pesante dentro il foro di sondaggio per l'effettuazione delle prove geofisiche dovrà effettuarsi con le seguenti modalità operative:

a) lavaggio accurato del foro con acqua pulita e controllo della profondità;
b) calaggio della tubazione nel foro; i tubi saranno giuntati con manicotti incollati ma non rivettati (eventualmente fissati con viti autofilettanti non passanti), in modo da garantire la perfetta linearità interna e l'assenza di scalini nella tubazione;
c) cementazione dell'intercapedine foro-tubo con miscela acqua-bentonite-cemento (dosaggio a/c/b rispettivamente 100/50/10) in modo da garantire la continuità del contatto terreno-tubazione su tutta la verticale per garantire registrazioni sismiche di qualità.

La cementazione deve essere eseguita a partire dal fondo foro con un tubo ausiliario riempiendo dal basso verso l'alto in maniera uniforme l'intercapedine tra foro e rivestimento, allontanando il fango e i detriti eventualmente presenti

La pressione di iniezione non deve essere superiore a 2 atm. Qualora la situazione incontrata presentasse forti venute di acqua, fatturazione, scavernamenti, ecc., la composizione della miscela e la pressione d'iniezione potranno essere opportunamente variate previa la preventiva autorizzazione delle Ferrovie.

Una volta terminate le operazioni di rivestimento e cementazione l'interno dei tubi deve essere lavato con acqua pulita e lasciato pieno d'acqua.

3.7.4.2 Sistemazione al piano campagna della bocca di perforazioni e di sondaggi.

La sistemazione della bocca di perforazioni o di sondaggi dovrà essere eseguita in modo da evitare manomissioni esterne e da consentire di effettuare periodicamente le ispezioni o le letture delle apparecchiature e delle strumentazioni installate in opera.

L'operazione complessivamente consiste in :

- scavo di 20 cm di profondità e 20 cm attorno al foro di sondaggio per l'esecuzione di prospezioni geofisiche in foro da effettuarsi prima dell'estrazione dell'ultimo spezzone di tubo di rivestimento del foro qualora non sia stato posizionato un tubo di rivestimento definitivo e di attrezzaggio del foro stesso.
- inserimento e cementazione nel pozzetto di uno spezzone di tubo d'acciaio zincato (flangia) con sovrastante cappelletto apribile con lucchetto del diametro interno inferiore o superiore a 120 mm in funzione della tipologia di attrezzaggio applicato.
- nel caso di sondaggio posizionato in aree pavimentate o carrabili occorrerà eseguire un pozzetto attorno al foro di sondaggio di sezione almeno 30 X 30 e profondità maggiore di 30 cm con cordolo in muratura o in cls e posizionamento di flangia con lucchetto e superiormente di chiusino presente serrabile.

3.8 PROVE GEOTECNICHE IN SITO

3.8.1 APPARECCHIATURA IN OPERA

3.8.1.1 Fornitura e installazione di piezometro a tubo aperto di diametro non inferiore a mm 40.

Il piezometro a tubo aperto è costituito da tubi 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.

A. Attrezzatura

Lo strumento è costituito da:

- Tubi filtranti in PVC, di spessore pari a 1÷2 mm, con finestrature trasversali con apertura di 0,4÷1,0 mm, diametro interno compreso tra 40 e 80 mm, con giunzione a manicotto esterno. I tubi dovranno essere forniti in spezzoni di lunghezza non superiore a 3 metri.
- Tubi ciechi in PVC, di spessore pari a 1÷2 mm, con diametro interno compreso tra 40 e 80 mm e con le estremità filettate e giuntate con manicotti esterni; questi tubi dovranno avere le medesime dimensioni dei tubi finestrati.

Se destinato al prelievo di campioni di fluido per analisi chimico - fisiche, si installeranno tubi del diametro interno ∅int ≥ 100 mm, in PVC con rivestimento in granulare siliceo; l'uso di tubi in PVC non rivestito deve in questo caso essere concordato con le Ferrovie e chiaramente segnalato nella documentazione della avvenuta installazione.

B. Installazione

B1. Controlli ed operazioni preliminari

Prima della posa in opera:

- verificare che i tubi non presentino lesioni, schiacciamenti o curvature dovute al trasporto o all'immagazzinamento, o eventuali altri difetti di fabbricazione;
- verificare che i filetti alle estremità dei tubi ed i manicotti non presentino anomalie tali da compromettere il buon accoppiamento dei tubi;
- montaggio dei manicotti di giunzione ad una estremità dei tubi con sigillatura mediante sigillanti idraulici;
- preparazione del materiale necessario alla formazione degli strati filtranti e di sigillatura (o impermeabilizzazione);
- per lo strato filtrante devono essere utilizzati sabbia e ghiaietto puliti con granulometria 1÷4 mm;
- per la sigillatura (o impermeabilizzazione) devono essere utilizzate palline di bentonite precompresse con diametro 1÷2 cm e ghiaietto da 2÷3 cm.

B2. Modalità esecutiva

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

- verificare con lo scandaglio la quota del fondo foro che dovrà essere almeno 50 cm maggiore della profondità di posa della cella;
- lavare accuratamente il foro con acqua pulita immessa dal fondo fino a che non esca acqua limpida;
- verificare nuovamente la quota del fondo foro con lo scandaglio;
- sollevare il rivestimento di circa 70 cm;

- se il piezometro non è previsto a fondo foro ma ad una quota intermedia, prima dell'immissione della sabbia di fondo foro si dovrà riempire il tratto di sondaggio non utile con una miscela di acqua cemento e bentonite (dosaggio a/c/b rispettivamente 100/50/10 in peso), sigillandola infine con un tappo di bentonite;
- immettere della sabbia grossa o del ghiaietto fine (Ø = 1÷4 mm) per un'altezza di circa 50 cm dal fondo, controllando con lo scandaglio la quota raggiunta;
- inserimento del tubo piezometrico nel foro di sondaggio, aggiungendo progressivamente gli spezzoni di tubo secondo la sequenza tratti finestrati/tratti ciechi prevista dalle Ferrovie 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; Il tratto finestrato dovrà essere protetto con geosintetico (tessuto non tessuto di luce non superiore a 0,5 mm) e l'estremità inferiore del tubo sarà chiusa con apposito tappo di fondo;
- posa di sabbia grossa (Ø = 1÷4 mm) pulita o materiale granulare pulito (ghiaietto fine - Ø = 2÷4 mm) attorno al tubo fino a risalire di 1 m dall'estremità superiore del tratto finestrato, ritirando man mano la colonna di rivestimento, senza l'ausilio della rotazione, con l'avvertenza di controllare che il piezometro non risalga assieme al rivestimento;
- formazione di un tappo impermeabile superiore, costituito da palline di bentonite preconfezionate (Ø = 1÷2 cm) in strati di 20 cm alternate a straterelli di ghiaietto di 2÷3 cm, per lo spessore complessivo di 1 m, ritirando man mano i rivestimenti (senza l'ausilio della rotazione) e costipando i livelli di ghiaietto;
- 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;
- sistemazione e protezione del piezometro con la creazione di un pozzetto in lamiera verniciata, ben cementato nel terreno, munito di coperchio con lucchetto e chiavi che verranno consegnate alle Ferrovie; nel caso di installazione in luoghi aperti al traffico veicolare o pedonale (strade, piazzali, marciapiedi), e solo su specifica richiesta delle Ferrovie, in luogo del chiusino standard dovrà essere installato idoneo chiusino carrabile, posto in opera a filo della pavimentazione esistente;
- verifica dell'assenza di ostruzioni o di impedimenti ed eventuale spurgo del tubo piezometrico.

Nei casi di installazione di piezometri nell'ambito di indagini di tipo ambientale e in tutti i casi in cui sia previsto il prelievo di campioni d'acqua da sottoporre ad analisi chimiche, particolare cura dovrà essere posta nell'utilizzo dei materiali necessari alla formazione degli strati filtranti e di sigillatura e dell'acqua delle operazioni di lavaggio al fine di evitare qualsiasi contaminazione dell'acqua di falda.

Nei giorni successivi all'installazione, di norma, devono eseguirsi alcune letture (minimo n. 3) per controllare la stabilizzazione del livello piezometrico, la prima delle quali deve essere rilevata almeno un paio di ore dopo l'installazione del piezometro e le altre, successivamente, almeno una volta al giorno per tutta la durata del cantiere.

C. Misure

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

Tale indicatore deve essere composto da un puntale rilevatore e da un cavo metrato/centimetrato avvolto su rullo. Deve essere dotato di un avvisatore acustico/luminoso che segnali il contatto del puntale con la superficie del pelo libero dell'acqua e di un cavo metrato/centimetrato 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 ± 5 mm;
- annotare la quota così rilevata sul modulo di lettura.

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 m ± 2 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, abrasioni e/o traslazioni di tacche di riferimento, la sonda deve essere sostituita.

Non sono ammesse giunzioni di qualsiasi tipo sul cavo.

Documenti da consegnare.

Al completamento delle operazioni dovranno essere riportate nel documento stratigrafico del relativo 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 ecc..);
- schema, tipo e posizione del piezometro installato;
- quote del tratto cieco e di quello finestrato;
- quota assoluta del bordo superiore del pozzetto di protezione;
- tabella con valori delle letture eseguite e relative date fino alla consegna.

3.8.1.2 Installazione di piezometro con cella tipo Casagrande a doppio tubo.

La cella piezometrica è 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 minori sospese, isolando il tratto di misura, e in terreni con permeabilità bassa. Nei normali fori di sondaggio è possibile installare una o più 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.

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".

Per consentire di attrezzare eventualmente il piezometro con un trasduttore elettrico di pressione, uno dei due raccordi deve avere un diametro da 1 ½".

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";
- spessore ≥ 3 mm;
- 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;
h) per lo strato filtrante si consiglia di utilizzare sabbia e ghiaietto puliti con granulometria 1÷4 mm;
i) per la sigillatura si può utilizzare una miscela di palline di bentonite precompresse con diametro 1÷2 cm e ghiaietto di 2÷3 cm;

B2. Modalità esecutive

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

a) controllo della quota di fondo del foro con idoneo scandaglio;

b) lavaggio della perforazione con acqua pulita e immessa dal fondo;

c) se richiesto, riempimento del foro con malta di acqua-cemento-bentonite (dosaggio a/c/b rispettivamente 100/50/10), fino alla quota di 1,5 m al di sotto di quella prevista per l'installazione della cella piezometrica, con ritiro progressivo del rivestimento;

d) posa di un tappo impermeabile costituito da palline di bentonite (Ø=1÷2 cm) precedentemente confezionate, costipate con pestello, per lo spessore di 1 m, con ritiro ulteriore del rivestimento;

e) abbondante lavaggio del foro con acqua pulita immessa dal fondo;

f) controllo della profondità del foro;

g) posa di uno strato (spessore pari a 0,5 m) di materiale granulare pulito uniforme e saturo (Ø =1÷4 mm), ritirando il rivestimento; tale operazione deve avvenire con il foro pieno d'acqua;

h) controllo della profondità del foro;

i) discesa a quota della cella piezometrica preventivamente saturata (mantenuta fino a quel momento in acqua pulita) collegando i tubi di andata e ritorno, assicurandosi della perfetta tenuta dei giunti mediante sigillanti idraulici;

j) posa di sabbia pulita attorno e sopra il piezometro (0,5 m) con ritiro della colonna di rivestimento senza l'ausilio della rotazione, con l'avvertenza di controllare che il piezometro non risalga assieme ai rivestimenti e che in colonna sia sempre presente sabbia;

k) completamento dell'installazione dei tubi e verifica di assenza di ostruzioni o comunque impedimenti al passaggio della sonda, inserendo la sonda stessa;

l) formazione di un tappo impermeabile, per uno spessore totale di almeno 1 m, costituito da strati di circa 15 cm di palline di bentonite (Ø=1÷2 cm) e strati di ghiaietto (Ø=2÷3 cm), entrambi compattati con pestello,

m) innalzamento progressivo del rivestimento del foro sempre senza l'ausilio della rotazione mentre si compiono le operazioni di sigillatura;

n) se non è prevista l'installazione di una seconda cella piezometrica, 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;

o) verifica finale dell'assenza di ostruzioni o comunque di impedimenti al passaggio della sonda, mediante l'inserimento dell'indicatore di livello;

p) spurgo della cella con acqua pulita immessa alternativamente nei due tubi per almeno 20 minuti.

q) inserimento delle estremità dei tubi in un pozzetto metallico con chiusura a lucchetto e chiave. Il pozzetto dovrà essere cementato nel terreno. Le chiavi, identificate da un cartellino completo delle indicazioni del caso, saranno consegnate alle Ferrovie; nel caso di installazione in luoghi aperti al traffico veicolare o pedonale (strade, piazzali, marciapiedi), e solo su specifica richiesta delle Ferrovie in luogo del chiusino standard dovrà essere installato idoneo chiusino carrabile, posto in opera a filo della pavimentazione esistente.

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 il 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.

Nei giorni successivi all'installazione, di norma, devono eseguirsi alcune letture (minimo n. 3) per controllare la stabilizzazione del livello piezometrico, la prima delle quali deve essere rilevata almeno un paio di ore dopo l'installazione del piezometro e le altre, successivamente, almeno una volta al giorno per tutta la durata del cantiere.

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/centimetrato avvolto su rullo. Deve essere dotato di un avvisatore acustico/luminoso che segnali il contatto del puntale con la superficie del pelo libero dell'acqua e di un cavo metrato/centimetrato 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 ± 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.

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 m ± 2 mm. Nel caso in cui ciò non avvenga, si deve provvedere alla sostituzione della sonda e alla 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, abrasioni e/o traslazioni di tacche di riferimento, la sonda deve essere sostituita.

Non sono ammesse giunzioni di qualsiasi tipo sul cavo.

Documenti da consegnare.

Al completamento delle operazioni dovranno essere riportate, sul documento stratigrafico del relativo 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 installata dovranno essere fornite:

- informazioni generali (profondità, quota bocca foro s.l.m. ecc...) marca, modello , eventuale numero di matricola;
- schema geometrico di installazione;
- quota assoluta dei terminali piezometrici;
- posizioni e dimensioni dei tamponi;
- tabelle e grafici con letture piezometriche eseguite.

Riferimenti normativi:

- AGI (1977) "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche"

3.8.1.3 Installazione di piezometro elettrico.

Tale strumento viene utilizzato in terreni con permeabilità da media a bassa ($K < 10^{-6}$ m/sec) per la misura delle pressioni neutre nel terreno quando sia necessaria una risposta rapida alle variazioni del carico idraulico.

A. Strumentazione

Il piezometro elettrico è costituito dai seguenti elementi:

a) un corpo cilindrico in acciaio inossidabile contenente la camera idraulica, il sensore di misura, la scheda di condizionamento 4-20 mA e la terminazione del cavo;

b) un filtro, a forma di disco, realizzato in acciaio sinterizzato, ceramica o plastica che mette in comunicazione la camera idraulica con l'ambiente esterno;

c) un cavo elettrico di opportune caratteristiche che realizza il collegamento dello strumento all'unità di lettura.

Il trasduttore elettrico di pressione dovrà avere le seguenti caratteristiche minime:

- Campo di misura tipico: compreso tra 0,2 e 5 MPa (da stabilirsi in funzione del problema)
- Massimo sovraccarico: 30% f.s.
- Precisione tipica: < 0,3% f.s.
- Sensibilità: 0,01% f.s.
- Segnale in uscita: 4-20 mA
- Deriva termica di sensibilità: < 0,01%/ °C
- Campo di temperatura: -10÷+55°C

I filtri dovranno avere le seguenti caratteristiche minime:

- Materiale: acciaio inox sinterizzato, ceramica, plastica
- Tipo di saturazione: normalmente con aria degassata
- Porosità tipica: 1 micron (alto air entry value)
  40-50 micron (basso air entry value)

La saturazione dei filtri ha lo scopo di rimuovere il gas presente nei pori del filtro e di sostituirlo con fluido disareato che consenta di trasferire più velocemente e rigorosamente la pressione dall'esterno all'interno del piezometro. I filtri a "basso air entry value" sono più facilmente saturabili rispetto ai filtri con "alto air entry value". I cavi dovranno avere le seguenti caratteristiche minime:

- 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;

f) per lo strato filtrante devono essere utilizzati sabbia e ghiaia fine pulite (∅=1÷5 mm);

g) per la sigillatura si utilizzano palline di bentonite precompressa con diametro ∅=1÷2 cm e ghiaietto da 2÷3 cm.

B2. Modalità esecutive

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

a) controllo della quota di fondo del foro con idoneo scandaglio;

b) lavaggio della perforazione con acqua pulita e immessa dal fondo;

c) se richiesto, riempimento del foro con malta di acqua-cemento-bentonite (dosaggio a/c/b rispettivamente 100/50/10), fino alla quota di 0,5 m al di sotto di quella prevista per l'installazione del piezometro elettrico, con ritiro progressivo del rivestimento;

d) lavaggio della perforazione con acqua pulita e immessa dal fondo;

e) realizzazione dello strato filtrante in sabbia fine 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.

f) posizionamento del piezometro nella perforazione alla quota prevista (all'interno del contenitore con acqua e sabbia) e del cavo di collegamento;

g) esecuzione di una lettura per controllare il corretto funzionamento del piezometro;

h) 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;

i) controllo della quota superiore dello strato filtrante mediante apposito scandaglio;

j) 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;

k) 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;

l) esecuzione di una lettura di controllo del buon funzionamento del piezometro;

m) sistemazione dell'estremità superiore del piezometro in un pozzetto metallico con chiusura a lucchetto e chiave. Il pozzetto dovrà essere cementato nel terreno. Le chiavi, identificate da un cartellino completo delle indicazioni del caso, saranno consegnate alle Ferrovie; nel caso di installazione in luoghi aperti al traffico veicolare o pedonale (strade, piazzali, marciapiedi), e solo su specifica richiesta delle Ferrovie, in luogo del chiusino standard dovrà essere installato idoneo chiusino carrabile, posto in opera a filo della pavimentazione esistente.

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 e solo successivamente potrà essere eseguita la prima lettura operativa.

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: ≤ 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

Le misure acquisite dovranno essere riferite alla quota assoluta rispetto al livello del mare.

Documenti da consegnare.

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

La documentazione comprenderà, per ciascun piezometro elettrico installato:

- informazioni generali (profondità, quota bocca foro ecc.);
- tipo e caratteristiche del piezometro elettrico e dell'unità di misurazione (marca, modello, eventuale numero di matricola)
- schema geometrico dell'installazione;
- quota assoluta dei terminali piezometrici;
- tabulazioni dei dati piezometrici raccolti per la durata del cantiere.

Riferimenti normativi:

- AGI (1977) " Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche"

3.8.1.4 Installazione di tubo inclinometrico.

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.

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 ABS il cui utilizzo dovrà essere preventivamente autorizzato dalle Ferrovie.

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: Øint guide = 82 mm
- Spessore: min. 2 mm (min. 4 mm per tubi in ABS)
- Lunghezza tubi: 3 m
- Materiale: alluminio, ABS
- Eventuali protezione: anodizzazione o verniciatura con vernici epossidiche (per tubi in alluminio)
- Angolo di spiralatura max: < 0,5°/m
- Perpendicolarità delle sezioni terminali: ± 1°

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

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: Øint guide = 87÷89 mm
- Lunghezza: 300 mm
- Materiali: alluminio, ABS
- Gioco massimo di accoppiamento tra i tubi, dovuto ai soli manicotti: ± 2°/giunto

A2. Sonda inclinometrica

La sonda inclinometrica dovrà avere le seguenti caratteristiche:

- Tipo di sonda: biassiale
- Sensori: servoinclinometri
- Passo tra le ruote: 50 cm
- Campo di misura: ± 14,5° , ± 30°
- 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 anti-abrasione, 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 ½ digits LCD
- Risoluzione: 1/10.000; 1/20.000; 1/25.000
- Precisione tipica: +2 digits; ± 0,3 digit/°C
- Lettura: 10.000/20.000/25.000 sen α
- 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 ≤ 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, ecc.;
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) pre-assemblaggio 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 effettuino operazioni che comportino la variazione di quota della testa del 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 le Ferrovie.

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 Λ 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.
f) le letture inclinometriche devono essere ripetute ogni qualvolta si effettuano operazioni di variazione di quota della testa tubo.

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.

Le letture devono essere eseguite con una frequenza di 1 misura ogni metro di profondità di tubo nell'intervallo definito dalle Ferrovie.

Documenti da consegnare.

Al termine dell'installazione e della prima serie di misure (lettura "zero") e comunque dopo ogni serie di misure entro il termine temporale concordato con le Ferrovie e comunque entro 15 giorni dalla loro effettuazione dovrà essere consegnata alle Ferrovie la seguente documentazione:

- planimetria con ubicazione tubo e orientamento esatto della guida "1" rispetto al Nord geografico;
- schema della numerazione delle guide;
- 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 su tabella formato excel;
- 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 nei termini concordati con le Ferrovie e comunque 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.

Nel caso di impiego di tubi inclino-assestimetrici la documentazione di cui sopra dovrà essere integrata dai seguenti dati:

- 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.

3.8.1.5 Installazione di assestimetro elettromagnetico verticale a tubo corrugato.

L'assestimetro elettromagnetico è installato all'interno di un foro di sondaggio ed è 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 (∅est = 50÷85 mm, spessore ≥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 garantirne un sicuro ammorzamento;
- un tubo guida in duralluminio (∅est = 25÷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, in particolare 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 le Ferrovie.

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 ±2 mm)

La quota assoluta della testa dell'assestimetro dovrà essere rilevata mediante livellazione di precisione con frequenza di rilievo da definire con le Ferrovie. Il rilievo inclinoassestimetrico, 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.

Documenti da consegnare.

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 s.l.m. ecc..);
- caratteristiche dei tubi installati;
- schema geometrico di installazione con indicate quote assolute e relative degli anelli magnetici.

Inoltre:

- entro 15 giorni dall'installazione dell'assestimetro, 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.

3.8.1.6 Installazione di assestimetro a piastra.

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

La piastra in calcestruzzo dovrà avere dimensioni non inferiori a 60x60 cm e spessore 10 cm; dovrà essere opportunamente armata per evitare deformazioni o fessurazioni e la sua base dovrà essere perfettamente piana.

La piastra in acciaio, di dimensioni non inferiori a 50x50 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 in acciaio inox di diametro non inferiore a 25 mm, in barre da 2 m con filettatura femmina e manicotti di giunzione.

L'asta di misura sarà protetta da un rivestimento (guaina antiattrito corrugata), ad alta deformabilità, tenuto in posizione coassiale rispetto all'asta stessa mediante un anello di invito inferiore fissato alla piastra assestimetrica ed un anello portaguaina superiore.

L'estremità superiore dell'asta di misura sarà chiusa da una borchia che avrà funzione di riferimento per le letture oltre che di tappo di chiusura superiore.

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 fine (circa 20 cm) 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.

Al procedere della crescita del rilevato, si dovrà togliere l'anello di tenuta superiore ed aggiungere un'altra asta di misura curando di giuntare tra loro gli spezzoni di guaina antiattrito.

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.

La parte sommitale dell'estensimetro dovrà essere adeguatamente protetta da eventuali danneggiamenti.

Documenti da consegnare.

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

- descrizione generale (progetto, ubicazione dello strumento, data di installazione ecc…);
- caratteristiche del terreno di appoggio della piastra;
- caratteristiche e schema di installazione dell'assestimetro;
- quota assoluta della piastra e dell'estremità superiore (borchia) dell'asta di misura;
- misura di zero;

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

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

3.8.1.7 Installazione di assestimetro orizzontale a cella idraulica.

L'assestimetro orizzontale 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 con fondo scala di 10000 mm di colonna di fluido, per la misura della pressione del liquido contenuto nel circuito.

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

Il cavo elettroidraulico dovrà trasmettere i segnali elettrici del trasduttore di pressione con tubetto di diametro pari a 8 mm contenente il fluido costituito da una miscela di acqua e glicerina 1:1.

B. Installazione

B1. Controlli ed operazioni preliminari

Prima dell'inizio della posa in opera:

a) verifica che il tubo non presenti lesioni o schiacciamenti, in particolare 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 (sabbia o altro) adeguatamente compattato in modo tale da garantire una 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 assestimetrico; 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.

Documenti da consegnare.

Al completamento delle operazioni dovranno essere consegnati i seguenti elaborati:

a) uno schema geometrico del posizionamento della strumentazione;
b) entro quindici giorni dall' installazione dell'assestimetro, un grafico con l'esatta indicazione delle caratteristiche e delle misure del dispositivo installato;
c) una tabella con i dati relativi alla misura di base , caratteristiche e dati della strumentazione di misura (marca, modello, numero matricola, sensibilità, precisione);
d) entro quindici giorni da ogni misura, gli stessi elaborati di cui ai punti precedenti più gli elementi, tabellati e grafici, degli assestamenti rilevati.

3.8.1.8 Installazione di estensimetro a cavo.

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.

A. Strumentazione

La strumentazione è costituita essenzialmente da:

- tubo guida in acciaio invar per l'alloggiamento del contrappeso e del trasduttore di spostamento, dotato di una testa di ancoraggio con puleggia di rimando e di un dispositivo per la correzione della posizione del trasduttore di spostamento;
- chiodi di ancoraggio di lunghezza compresa tra 350 e 500 mm e diametro minimo pari a 20 mm;
- contrappeso costituito da materiale a basso coefficiente di dilatazione;
- filo d'acciaio invar di diametro minimo pari a 3 mm e di lunghezze varie, dotato di occhielli e di gancio di fermo per la sospensione;
- fermo di tensione con occhiello e gancio;
- trasduttore di spostamento con differenti campi di misura.

I cavi in materiale invar dovranno avere un basso coefficiente lineare di dilatazione termica; in ogni caso il sistema dovrà essere dotato degli accorgimenti necessari per individuare, e quindi annullare per via analitico - interpretativa o automatica, variazioni nella lunghezza dei cavi in seguito ai cambiamenti di temperatura del materiale.

B. Installazione

L'estensimetro a cavo dovrà essere installato posizionando due chiodi di ancoraggio a cavallo della frattura da esaminare.

La sequenza operativa per la messa in opera dei chiodi è la seguente:

- perforazione di diametro e lunghezza adeguata alle dimensioni del chiodo da installare;
- posizionamento del chiodo all'interno del foro lasciando sporgere soltanto la testa del chiodo stesso;
- cementazione dell'intercapedine foro-chiodo mediante malta a presa rapida, curando il completo intasamento del volume da cementare.

Al termine della cementazione si dovrà aspettare almeno un paio d'ore prima di proseguire con le operazioni di installazione dell'estensimetro che prevedono le seguenti fasi:

- posizionamento del tubo guida e della relativa testa di ancoraggio al chiodo predisposto;
- collegamento dell'estremità opposta al tubo guida con un filo d'acciaio con fermo di tensione allentato;
- collegamento del filo d'acciaio invar al contrappeso di tensione che dovrà passare nella puleggia di rimando;
- tesatura del filo d'acciaio per mezzo del fermo di tensione e successivo azzeramento del trasduttore di spostamento.

C. Misure

Gli eventuali allungamenti o accorciamenti dovranno essere letti in corrisondenza del trasduttore di spostamento utilizzando un'idonea centralina di lettura.

La frequenza di esecuzione delle misure dovrà essere approvata preventivamente dalle Ferrovie.

Documenti da consegnare.

Per ogni estensimetro attrezzato per letture dirette dovranno essere consegnati i seguenti elaborati:

a) immediatamente dopo ogni misura, a richiesta delle Ferrovie, una copia dei dati originali di campagna;
b) entro 15 giorni dall'esecuzione delle misure una relazione con la documentazione relativa alla misura effettuata, cosi composta:
   - dati di individuazione dell'estensimetro oggetto della misura;
   - data ed ora di effettuazione della misura;
   - indicazione delle temperature medie esterne, dell'estensimetro 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.
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.

Riferimenti normativi:

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

3.8.1.9 Installazione di estensimetro a barra.

L'estensimetro a barra 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.

A. Strumentazione

Lo strumento è costituito da un riferimento fisso, installato in profondità, all'interno di perforazioni appositamente realizzate cui è collegata una batteria di aste protette da una guaina esterna le quali trasferiscono il movimento del punto di ancoraggio alla testa di riferimento dello strumento. I movimenti del punto di ancoraggio devono essere rilevati per mezzo di un trasduttore elettrico di spostamento o da un comparatore centesimale.

L'estensimetro a barra può essere monobase o multibase; in genere all'interno di un foro di diametro pari a 101 mm può essere installato un estensimetro multibase fino a sei basi di misura.

I componenti principali dell'estensimetro a barra sono:

- aste di misura in fibra di vetro o in acciaio/invar;
- tubo antiattrito dell'asta di misura;
- ancoraggio superiore ed inferiore;
- testa estensimetrica monobase o multibase;
- tubi di cementazione;
- tappo per il bloccaggio delle aste durante la cementazione;
- coperchio della testa, tappi di chiusura e centratori delle aste;
- strumenti di misura (trasduttore elettrico di spostamento, comparatore centesimale).

Le aste di misura possono essere sia in fibra di vetro sia in acciaio o invar.

Le aste in fibra di vetro in generale sono più facili da installare specialmente se lo spazio a disposizione è ridotto; inoltre le aste in fibra di vetro possono essere pre-assemblate in fabbrica della lunghezza richiesta e trasportate in sito.

Le aste invar sono da preferirsi quando si aspettano grandi variazioni termiche nell'ambiente di installazione.

Le aste in acciaio sono fornite in spezzoni di lunghezza pari a 2-3 m con filettature maschio/femmina.

Le aste in acciaio/invar sono più rigide di quelle in fibra di vetro e sono da preferirsi quando si ipotizzano fenomeni di accorciamento (compressione) piuttosto che di allungamento (trazione) ed in ogni caso quando è previsto l'impiego di aste molto lunghe.

Il diametro delle aste varia a secondo della casa costruttrice; le aste in fibre di vetro hanno in genere diametri inferiori rispetto a quelle in acciaio/invar.

Negli estensimetri multibase le aste di misura devono essere dotate di anelli centratori installati ad intervalli di 3 m .

Il tubo antiattrito deve ospitare l'asta di misura isolandola dal terreno circostante, impedendo l'insorgere di attriti e facendo sì che l'asta interna sia libera di scorrere e trasmettere il movimento relativo tra l'ancoraggio inferiore e la testa di misura. Il diametro del tubo antiattrito deve essere adeguato al diametro delle aste di misura; per esempio, in presenza di aste di misura di 11 mm di diametro si dovrà utilizzare una guaina di protezione di diametro pari ad almeno 16 mm. Il tubo antiattrito dovrà essere collegato agli ancoraggi superiore ed inferiore mediante guarnizioni a tenuta stagna

Gli ancoraggi inferiore e superiore sono costituiti da spezzoni di tubo in acciaio.

L'ancoraggio inferiore è in acciaio zincato ad aderenza migliorata (lunghezza compresa tra 250 e 600 mm) ed è cementato al terreno circostante.

L'ancoraggio superiore dovrà essere collegato alla asta di misura e si innesta nella testa di misura.

La testa estensimetrica di misura sarà monobase o multibase in funzione dei punti di misura necessari. Dovrà essere costruita in acciaio inossidabile e sarà fornita di una testa di protezione a tenuta stagna.

Il sistema di misura può essere di tipo elettrico mediante trasduttore elettrico di spostamento e di tipo meccanico mediante comparatore centesimale.

- Il trasduttore elettrico di spostamento dovrà avere le seguenti caratteristiche minime:
  - Campo di misura tipico: ± 20, ± 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°C ÷ +50°C
  - Grado di protezione: IP 65.
- Il comparatore centesimale dovrà avere le seguenti caratteristiche minime:
  - Campo di misura tipico: 20 mm, 50 mm
  - Risoluzione tipica: 0,01 mm
  - Precisione tipica: 0,1 mm

B. 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

Per un estensimetro monobase 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 misura e della guaina di protezione (tubo antiattrito) 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 misura;
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) inserimento dell'ancoraggio nella perforazione e suo approfondimento fino a fondo foro, aggiungendo progressivamente spezzoni di aste di misura e di guaina di protezione;
g) cementazione dell'ancoraggio, rimozione del tubo di iniezione;
h) riempimento della perforazione con materiale idoneo;
i) installazione della testa di misura;
j) 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.

Per un estensimetro multibase la posa in opera dello strumento deve avvenire secondo la procedura di seguito elencata:

a) lavare la perforazione con acqua dolce pulita;
b) calzare uno spezzone di tubo di para (15 cm circa) sul codolo dell'ancoraggio inferiore fascettandolo;
c) avvitare il primo spezzone dell'asta di misura all'ancoraggio inferiore;
d) calzare un manicotto sul terminale dell'asta di misura a cavallo della guaina di protezione, premontata sull'asta di misura;
e) avvitare un altro spezzone di asta di misura;
f) fissare sulle aste cosi preparate un tubo di plastica per la cementazione, fissandolo con nastro in più punti;
g) ripetere le operazioni fin qui descritte per le eventuali altre basi estensimetriche di misura;
h) inserire le aste nel foro di perforazione, eventualmente sostenendole;
i) proseguire con il prolungamento dello strumento direttamente in foro, inserendo ad intervalli di circa due-tre metri i centratori ed alternando a questi robuste nastrature;
j) riprendere le operazioni fino a completare l'installazione;
k) lasciare che l'estensimetro sporga di circa un metro dalla boccaforo;
l) montare su ogni base l'ancoraggio superiore;
m) 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;
n) fissare la testa di misura alla parete serrando i bulloni;
o) svitare i tappi di protezione dei raccordi di iniezione (maschi 3÷6") e 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:
   - 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;
   - 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:

- svitare il tappo di protezione della base;
- montare lo strumento di misura (trasduttore elettrico o comparatore meccanico) ed effettuare la lettura;
- 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;
- 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 rimovibile, 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 deve 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.

C. Misure

Le letture manuali con il comparatore consistono 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 le 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.

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.

Le letture automatiche con trasduttore elettrico dovranno prevedere le seguenti modalità operative:

a) accendere la centralina e verificarne il valore di zero;
b) spegnere la centralina;
c) collegare la centralina al terminale di lettura e accenderla;
d) attendere che il valore evidenziato sul display si stabilizzi e comunque per il tempo minimo eventualmente indicato nel manuale d'uso;
e) annotare il valore rilevato sull'apposito modulo di lettura che deve contenere anche la lettura precedente.

Per la lettura dei trasduttori di spostamento devono essere utilizzate centraline di lettura aventi le seguenti caratteristiche tecniche minime:

- Display: 4 1/2 digits - LCD
- Risoluzione: 1 digit
- Precisione tipica: % 2 digits
- Coefficiente di deriva termica: ≤ 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

Documenti da consegnare.

Per ogni estensimetro attrezzato per letture dirette dovranno essere consegnati i seguenti elaborati:

a) immediatamente dopo ogni misura, a richiesta delle Ferrovie, una copia dei dati originali di campagna;
b) entro 15 giorni dall'esecuzione delle misure una relazione con la documentazione relativa alla misura effettuata, cosi composta:
   - dati di individuazione dell'estensimetri oggetto della misura;
   - data ed ora di effettuazione della misura;
   - indicazione delle temperature medie esterne, dell'estensimetro 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.
   - copia dei dati caratteristici della strumentazione (estensimetri a barre) forniti da costruttore ed eventuali tarature
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.

Riferimenti normativi:

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

3.8.1.10 Installazione di estensimetro incrementale.

L'estensimetro incrementale 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 generalmente poste ad intervallo di 1 m.

L'estensimetro incrementale può essere ad accoppiamento meccanico o ad accoppiamento elettromagnetico.

A. Strumentazione

Il sistema in generale è costituito da:
- tubo guida ed anelli di riferimento;
- un set di aste e di accessori per il posizionamento della sonda nel foro;
- una sonda estensimetrica portatile completa di cavo;
- una centralina di controllo e di lettura.

L'estensimetro incrementale ad accoppiamento elettromagnetico si basa sull'induzione elettromagnetica tra le bobine ad altissima precisione di una sonda di misura che passa attraverso anelli di riferimento in ottone fissati all'esterno dei tubi guida e cementati alle pareti del foro.

L'estensimetro ad accoppiamento meccanico si basa su un preciso accoppiamento cono-sfera tra una sonda removibile dotata di un trasduttore lineare di spostamento tipo LVDT e una serie di riscontri di misura alloggiati in una tubazione in PVC e cementati alle pareti di un foro di sondaggio.

A.1. Tubo guida ed anelli di riferimento

Nell'estensimetro ad accoppiamento elettromagnetico (tipo Increx) 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, magnetici, in metallo speciale (ottone) resi solidati al terreno mediante cementazione.

Il tubo guida dovrà avere uno spessore di almeno 0,5 cm con un diametro esterno adeguato al diametro del foro ed alle dimensioni della sonda di lettura (per es.: diametro esterno 70 mm e interno 60 mm con sonda da 46 mm).

Il posizionamento degli anelli di riferimento al tubo guida deve avvenire mediante una dima di precisione in modo tale che la distanza tra due anelli contigui sia precisamente pari a 1000 mm (1 metro).

Il fissaggio degli anelli 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.

Nell'estensimetro ad accoppiamento meccanico (tipo Sliding deformeter/Trivec) il tubo in PVC è munito, ogni metro, di ancoraggi anulari in ABS che sono collegati telescopicamente e sono resi solidai al terreno mediante iniezioni di malta cementizia.

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° della sonda stessa.

All'interno della sonda un trasduttore di spostamento di tipo potenziometrico permette di rilevare gli spostamenti relativi tra due ancoraggi successivi.

Nel caso di impiego di una sonda di lettura tipo Trivec devono essere seguite, a ciascun livello di misura, almeno due letture: la prima nella posizione di blocco iniziale della sonda e la seconda dopo una rotazione di 180° della sonda stessa.

A.2. Aste per il posizionamento della sonda

Le aste in genere hanno 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.

In presenza di assestimetri di lunghezza superiore a 30 m è consigliabile l'impiego di un argano a supporto delle aste guida.

A.3. Sonda estensimetrica

Le caratteristiche tecniche minime di base della sonda dovranno essere le seguenti:

- base di misura : 1 m
- campo di misura: ± 5 mm; ± 10 mm; ± 20 mm
- precisione: ±0,02 mm
- sensibilità: 0,001 ÷ 0,01 mm
- campo di temperatura: 5° ÷ + 50° C

La sonda estensimetrica tipo Trivec, oltre la deformazione assiale, deve permettere il rilievo delle deformazioni in due direzioni ortogonali all'asse del foro e dovrà possedere le seguenti caratteristiche minime:

- base di misura: 1 m
- micrometro:
  - campo di misura: ± 20 mm (± 10 mm)
  - precisione: ±0,003 mm
  - sensibilità: 0,001 mm

- inclinometro:
  - campo di misura: ± 14,5° (rispetto alla verticale)
  - precisione: ±0,05 mm/m
  - sensibilità: 0,005 mm (1°)
  - campo di temperatura: - 5° ÷ + 50° C

A.4. Centralina e cavo di misura

La centralina di misura dovrà avere le seguenti caratteristiche minime:

- lettura massima: 19999 digits
- temperatura operativa: - 5° ÷ + 70° 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 ÷ 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.

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.

In linea generale si dovrà operare come segue:

- lavare accuratamente il foro di sondaggio con acqua pulita;
- a seconda della profondità di progetto alla quale andrà installato lo strumento, e quindi del foro, preparare un numero adeguato di tubi;
- preparare il materiale di consumo occorrente quale dima per anelli di riferimento, rivetti, mastice, nastro, rivettatrice, trapano, cacciavite ecc. e quant'altro necessario per realizzare correttamente la colonna assestimetrica;
- assemblare sulla parte terminale della prima barra di tubo mediante rivetti e mastice il tappo di fondo completo di anello per il fissaggio della fune di supporto della colonna, che dovrà essere montata nel caso d'installazione verticale verso il basso;
- disporre un terminale di testa completo di flangia di fissaggio, sistema di ancoraggio e tappo filettato di chiusura;
- negli assestimetri tipo Increx, partendo dal primo spezzone di tubo, montare, coassialmente ad esso, il primo anello di riferimento partendo da 50 cm di distanza rispetto al fondo tubo e fissarlo mediante viti; proseguire, mediante l'uso della dima (che dovrà essere montata sempre a cavallo dei due anelli di riferimento), posizionando il secondo anello di riferimento e fissarlo alla tubazione mediante le viti e così a seguire;

- nel caso di installazione verticale verso il basso, montare sul terminale del tappo di fondo una fune di nylon o similare (non metallica) di lunghezza adeguata alla profondità di posa del tubo per il supporto della colonna durante le fasi di montaggio della stessa;
- qualora il foro sia pieno d'acqua, si dovrà riempire con acqua pulita il tubo in modo da contrastare la sottospinta;
- al termine dell'installazione della colonna estensimetrica incrementale, essa deve essere collegata e resa solidale al terreno mediante cementazione da eseguire a bassa pressione (< 2 bar); l'accurato intasamento dell'intercapedine dal fondo della colonna viene realizzato per mezzo di una boiacca cementante la cui composizione va attentamente valutata in relazione alle caratteristiche dei terreni circostanti; in situazioni del tutto particolari, qualora la boiacca cementante tendesse a disperdersi a causa di fratture, l'intasamento può ottenersi versando ghiaietto calibrato (∅ 2-4 mm), o sabbia monogranulare, da addensarsi per caduta mediante la percolazione di acqua introdotta dall'alto; l'intasamento della intercapedine con boiacca può essere ottenuto mediante tubetto volante montato esternamente alla tubazione, per garantire una perfetta cementazione della colonna dal fondo del tubo alla superficie; l'intasamento con boiacca ha il vantaggio di consentire di estrarre il rivestimento provvisorio se presente in un unica manovra alla fine della iniezione; in ogni caso il rivestimento di perforazione dovrà essere estratto operando solamente a trazione e senza rotazione; l'intasamento con ghiaietto o sabbia, in preforo rivestito e con acqua, è piuttosto lento dovendo attendere ogni volta la decantazione del materiale fino sotto la scarpa prima di procedere ad estrarre ogni successivo spezzone della camicia provvisoria;
- accurato lavaggio con acqua pulita dell'interno del tubo inclinometrico;
- installazione a testa foro di un chiusino di protezione, cementato al terreno, e provvisto di una chiusura con lucchetto e chiavi.

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 minuti); le misure dovranno essere ripetute almeno due volte lungo la stessa verticale ed i valori ottenuti dovranno essere mediati.

Nell'estensimetro tipo Increx la misura dovrà essere eseguita in risalita secondo le seguenti fasi:

- inserimento della sonda nel tubo guida e approfondimento della stessa fino a fondo foro;
- attesa della completa stabilizzazione della sonda nei confronti della temperatura di fondo foro;
- esecuzione delle letture in risalita ad intervalli di 1 m regolando la posizione della sonda in corrispondenza degli anelli di riferimento attraverso la testa di bloccaggio.

Nell'estensimetro tipo Sliding Deformeter la misura dovrà rispettare la seguente procedura:

- inserimento della sonda nel tubo guida in posizione di movimento ed abbassamento della stessa fino a superare il primo riscontro di misura;
- rotazione della sonda di 45° e sollevamento della stessa fino a completo bloccaggio nel riscontro di misura;
- esecuzione della misura e ripetizione della procedura fino a fondo foro;
- ripetizione delle misure in risalita.

Nell'estensimetro tipo Trivec la misura dovrà rispettare la seguente procedura:

- inserimento della sonda nel tubo guida in posizione di movimento ed abbassamento della stessa fino a superare il primo riscontro di misura;

- rotazione della sonda di 45° e sollevamento della stessa fino a completo bloccaggio nel riscontro di misura;
- esecuzione della lettura estensimetrica (componente di spostamento z) e della prima lettura inclinometrica (componenti x e y);
- ripetizione delle misure inclinometriche in corrispondenza dello stesso riscontro a 90°, 180° e 270° rispetto alla guida di riferimento iniziale e riposizionamento della sonda in corrispondenza della guida principale;
- abbassamento della sonda fino a superare il secondo riscontro di misura;
- ripetizione della procedura fino a fondo foro;
- ripetizione delle misure in risalita.

Documenti da consegnare.

Per ogni sistema di estensimetri attrezzato per letture dirette dovranno essere consegnati i seguenti elaborati:

a) immediatamente dopo ogni misura, a richiesta delle Ferrovie, una copia dei dati originali di campagna;
b) entro 15 giorni dall'esecuzione delle misure una relazione con la documentazione relativa alla misura effettuata, cosi composta:
   - dati di individuazione dell'estensimetro oggetto della misura con schema geometrico;
   - data ed ora di effettuazione della misura;
   - indicazione delle temperature medie esterne, dell'estensimetro 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.
   - copia dei dati caratteristici della strumentazione (estensimetro incrementale) fornita dal costruttore ed eventuali tarature
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.

3.8.1.11 Installazione di estensimetro a corda vibrante o di tipo resistivo (barretta estensimetrica)

Gli estensimetri a corda vibrante o di tipo resistivo sono utilizzati per misurare le deformazioni e lo stato di sollecitazione in strutture quali pali di fondazione, rivestimenti di gallerie, opere in terra ed edifici ecc..

A. Strumentazione

Gli estensimetri possono essere a corda vibrante o di tipo resistivo.

L'estensimetro a corda vibrante 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.

L'estensimetro a corda vibrante può essere di due tipi:

Estensimetro a c.v. per saldatura

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.

Viene impiegato per applicazioni su elementi di acciaio o su barre di armatura mediante blocchetti di montaggio.

Estensimetro a c.v. 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 dalle Ferrovie, dovranno essere gettati in opera.

L'estensimetro a c.v. dovrà presentare le seguenti caratteristiche minime:

- Lunghezza della corda: 50, 150 ÷ 250 mm
- campo di rilievo: ± 1500 microstrain
- sensibilità: 1,0 microstrain
- frequenza di zero tipica: 800 Hz
- resistenza della bobina: 150 ohm
- temperatura di esercizio: -20° ÷ +80° C

L'estensimetro a c.v. dovrà essere dotato di un sensore integrato per il contemporaneo rilievo della temperatura della struttura sotto controllo. Tale temperatura dovrà essere letta nella centralina di lettura.

L' estensimetro di tipo resistivo (barretta estensimetrica) è costituito essenzialmente da un conduttore elettrico che a seguito di una deformazione provoca una variazione di resistenza proporzionale alla deformazione stessa.

Gli accorgimenti costruttivi della barretta estensimetrica devono prevedere le compensazioni per gli effetti delle deformazioni radiali e di quelli termici. In pratica, quindi, l'estensimetro resistivo è costituito da una asta in acciaio che in una data sezione è sensibilizzata con quattro estensimetri collegati a ponte Wheatstone così che due risultino con l'asse orientato per misurare le deformazioni e due risultino di compensazione.

L'estensimetro resistivo dovrà presentare le seguenti caratteristiche minime:

- Uscita nominale: 2 mV/V f.s.
- Impedenza di ingresso: ~ 350 ohm
- Impedenza d'uscita: ~ 350 ohm
- campo di rilievo: ± 1500 microstrain
- tensione di eccitazione: max. 10 V
- frequenza di zero tipica: 800 Hz
- temperatura di esercizio: -5° ÷ +65° C

B. Installazione

Le modalità di installazione variano in funzione del tipo di estensimetro adottato.

Negli estensimetri installati per saldatura si dovrà adottare la seguente procedura di massima:

- pulire accuratamente la superficie di saldatura rimuovendo l'eventuale ruggine con una levigatrice o carta smerigliata;

- eliminare eventuali irregolarità nella superficie e/o tracce di grasso;
- segnare esattamente la posizione di saldatura;
- eseguire la saldatura;
- verificare che la saldatura sia stata effettuata a perfetta regola d'arte secondo i criteri della normativa vigente.

Quando si saldano gli estensimetri resistivi ai ferri di armatura è necessario avvolgere la barretta estensimetrica con uno straccio bagnato per contrastare la propagazione del calore verso il ponte estensimetrico.

Negli estensimetri installati per annegamento nel calcestruzzo la procedura di massima è la seguente:

- realizzare una struttura metallica di dimensione idonea;
- fissare l'estensimetro alla struttura metallica per mezzo di fil di ferro non troppo tesato;
- rivestire con nastro auto vulcanizzante i due punti di contatto dell'estensimetro con il fil di ferro;
- posizionare la struttura secondo la direzione desiderata ed in maniera da renderla stabile durante il getto di calcestruzzo.

E' possibile annegare l'estensimetro direttamente nel calcestruzzo senza gabbia quando si ha la certezza che la sua orientazione risulterà corretta.

E' buona regola proteggere l'estensimetro con una scatola metallica da fissare alla struttura sotto controllo con bulloni posizionati a debita distanza dall'estensimetro per non falsare le letture.

Gli estensimetri dovranno essere 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. Ciascun cavo dovrà essere dotato, all'estremità esterna, di una targhetta identificativa chiaramente leggibile anche durante l'esercizio.

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.

Documenti da consegnare.

Per ogni sistema di estensimetri attrezzato per letture dirette dovranno essere consegnati i seguenti elaborati:

a) immediatamente dopo ogni misura, a richiesta delle Ferrovie, 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 e schema geometrico adottato, marca, modello ed eventuale numero di matricola;
   - data ed ora di effettuazione della misura;
   - indicazione delle temperature medie esterne, dell'estensimetro 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.

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.

3.8.1.12 Installazione di fessurometro meccanico tridirezionale.

Il fessurometro tridirezionale è di norma installato a cavallo di lesioni o fratture in corrispondenza di pareti rocciose o in strutture in calcestruzzo e/o muratura al fine di verificarne l'evoluzione nel tempo secondo tre direzioni ortogonali di spostamento.

A. Strumentazione

Il fessurometro è formato essenzialmente dai seguenti elementi:

- telaio in acciaio inox suddiviso in due elementi, da installare ai due lati opposti della discontinuità, sagomati in modo tale da poter inserire il comparatore meccanico ed effettuare le misure secondo le tre direzioni x, y e z;
- staffe di ancoraggio;
- comparatore a lettura manuale con le seguenti caratteristiche minime:
  - risoluzione pari ad almeno 0,01 mm
  - campo di misura minimo = 0-50 mm
  - precisione di misura minima = 0,02-0,05 mm

Lo strumento deve permettere di eseguire le letture anche con trasduttori elettrici mediante unità di lettura portatile o con registrazione automatica dei dati.

B. Modalità esecutive

Per il montaggio dello strumento si dovrà procedere nel seguente modo:

- pulizia, asportazione delle asperità e regolarizzazione della superficie di installazione;
- perforazione dei fori di ancoraggio posizionati mediante l'impiego della dima di riferimento o della sagoma di assemblaggio dello strumento;
- inserimento del tassello o del dado di ancoraggio e cementazione dello stesso;
- verifica della cementazione e rimozione della dima/sagoma;
- collegamento dello strumento agli ancoraggi.

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.

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 fessurometro 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.

Documenti da consegnare.

Per ogni fessurometro installato per letture dirette dovranno essere consegnati i seguenti elaborati:

a) immediatamente dopo ogni misura, a richiesta delle Ferrovie, 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, indicazione delle sue caratteristiche (marca, modello, numero di matricola, precisione) ed indicazione dello schema geometrico di installazione;
   - data ed ora di effettuazione della misura;
   - indicazione delle temperature medie esterne, del fessurometro 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.
   - copia dei dati caratteristici della strumentazione (fessurometri meccanici) fornita da costruttore ed eventuali tarature
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.

3.8.1.13 Installazione di fessurometro meccanico monodirezionale.

Il fessurometro monodirezionale è di norma installato a cavallo di lesioni o fratture in corrispondenza di pareti rocciose o in strutture in calcestruzzo e/o muratura al fine di verificarne l'evoluzione nel tempo lungo una sola direzione.

A. Strumentazione

Il fessurometro è formato essenzialmente dai seguenti elementi:

- due elementi in acciaio inox, da installare ai due lati opposti della discontinuità, sagomati a L in modo tale da poter inserire il comparatore meccanico ed effettuare le misure secondo una sola direzione;
- staffe di ancoraggio;
- comparatore a lettura manuale con le seguenti caratteristiche minime:
  - risoluzione pari ad almeno 0,01 mm
  - campo di misura minimo = 0-50 mm
  - precisione di misura minima = 0,02-0,05 mm

Lo strumento deve permettere di eseguire le letture anche con trasduttori elettrici mediante unità di lettura portatile o con registrazione automatica dei dati.

B. Modalità esecutive

Per il montaggio dello strumento si dovrà procedere nel seguente modo:

- pulizia, asportazione delle asperità e regolarizzazione della superficie di installazione;
- perforazione dei fori di ancoraggio posizionati mediante l'impiego della dima di riferimento o della sagoma di assemblaggio dello strumento;
- inserimento del tassello o del dado di ancoraggio e cementazione dello stesso;
- verifica della cementazione e rimozione della dima/sagoma;
- collegamento dello strumento agli ancoraggi.

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.

C. Misure

La misura di "zero" dovrà essere eseguita subito dopo l'installazione della strumentazione nella direzione concordata con le Ferrovie 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 fessurometro 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 spostamento dei lembi della fessura strumentata.

Documenti da consegnare.

Per ogni fessurometro installato per letture dirette dovranno essere consegnati i seguenti elaborati:

a) immediatamente dopo ogni misura, a richiesta delle Ferrovie, 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 (marca modello ed eventuale numero di matricola, precisione);
   - data ed ora di effettuazione della misura;
   - indicazione delle temperature medie esterne, del fessurometro 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.
   - copia dei dati caratteristici della strumentazione (fessurometri meccanici) fornita dal costruttore ed eventuali tarature;
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.

3.8.1.14 Installazione di fessurimetro con reticolo graduato.

Il fessurimetro con reticolo graduato è di norma installato a cavallo di lesioni o fratture in corrispondenza di pareti rocciose o in strutture in calcestruzzo e/o muratura al fine di verificarne l'evoluzione nel tempo.

A. Attrezzatura e modalità esecutive

Il fessurimetro è formato da due basette di resina, policarbonato o plastica, parzialmente sovrapposte e mobili.

La piastra superiore riporta un reticolo o riferimento cartesiano mentre quella inferiore presenta una scala calibrata in millimetri sia in senso orizzontale che in senso verticale e con l'azzeramento sulle quattro parti mediane.

Le piastrine devono essere fissate saldamente sulla parete o sulla struttura da monitorare attraverso l'utilizzo di resine epossidiche o per mezzo di sistemi di fissaggio meccanici (tasselli di plastica).

Il sistema di funzionamento consiste nel posizionare le basette a cavallo della lesione che si vuole misurare.

Nella fase di posizionamento iniziale il riferimento cartesiano coincide con gli assi del reticolo di misura.

La variazione di apertura della lesione, qualunque essa sia, viene misurata dalla posizione assunta dal reticolo rispetto a quella assunta dal riferimento.

La precisione di lettura deve essere pari ad almeno 1 mm mentre il campo minimo di lettura deve essere di ± 20 mm.

B. Misure

La misura di "zero" dovrà essere eseguita subito dopo l'installazione della strumentazione dopo avere raggiunto il necessario fissaggio.

Le successive misure saranno eseguite con una frequenza da concordare preventivamente con le Ferrovie.

Ogni misura deve riportare la lettura sull'asse delle x e sull'asse delle y.

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.

Documenti da consegnare.

Per ogni fessurimetro installato per letture dirette dovranno essere consegnati i seguenti elaborati:

a) immediatamente dopo ogni misura, a richiesta delle Ferrovie, una copia dei dati originali di campagna;
b) entro 15 giorni dall'esecuzione delle misure una relazione con la documentazione relativa alla misura effettuata, cosi composta:
   - dati di individuazione del fessurimetro oggetto della misura;
   - data ed ora di effettuazione della misura;
   - 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.
   - copia dei dati caratteristici della strumentazione (fessurometri con reticoli graduati) fornita dal costruttore ed eventuali tarature
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.

3.8.1.15 Installazione di stazione di convergenza.

Le misure in una stazione di convergenza vengono eseguite per valutare la variazione di distanza tra una coppia di punti fissi in corrispondenza di scavi in sotterraneo o a cielo aperto o di pareti naturali in versanti rocciosi.

I sistemi di misura possono essere di tipo meccanico e di tipo ottico.

Il sistema di tipo meccanico prevede l'utilizzo di:

- distometro a nastro;
- bulloni di convergenza.

Il sistema di tipo ottico prevede l'impiego di:

- stazione topografica con funzione di teodolite e distanziometro;
- mire ottiche.

A. Attrezzatura

A.1. Distometro a nastro

Il distometro è costituito da:

- una bindella centimetrata in acciaio inox o invar montata su telaio ;
- un sistema meccanico di tensionamento;
- un comparatore (digitale o analogico) 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*10-5 della distanza
- materiale del telaio misuratore: lega leggera o acciaio verniciato
- materiale bindella: acciaio inox - invar.

A.1.1. Bulloni di convergenza

I bulloni di convergenza (Ø ≥ 20 mm) sono realizzati in acciaio nervato con zincatura elettrolitica anticorrosione con testa filettata, protetta da un cappuccio protettivo in PVC, idonea all'aggancio del distometro.

I bulloni possono avere dimensioni differenti in funzione del diverso campo di applicazione (roccia, centine, muratura, calcestruzzo) ed essenzialmente si differenziano per le modalità di posa in opera in bulloni da cementare in apposito foro (roccia, cls, muratura) e bulloni da saldare (centine).

La lunghezza standard dei bulloni cementati è pari a 250 mm.

A.2. Stazione topografica

La stazione topografica deve svolgere contemporaneamente la funzione di teodolite di precisione e di distanziometro elettronico.

Il teodolite elettronico dovrà essere di elevata precisione e tale da garantire una precisione angolare almeno pari a +/- 1" (0,3 mgon) in conformità alle norme DIN.

Il distanziometro elettronico dovrà avere una precisione almeno pari a +/- (1 mm + 2 ppm).

La precisione del rilievo dovrà essere pari alla precisione minima strumentale incrementata del 10%.

A.2.1. Mira ottica

La mira ottica dovrà essere costituita o da una piastra in cui è montato almeno n. 1 target, in grado di ruotare di 360°, o da una testa cubica contenente la mira ottica su ciascuna faccia rilevabile.

La dimensione della mira ottica non dovrà essere inferiore a mm 30x30.

B. Modalità esecutive e misure

B1. Bulloni

Normalmente in presenza di bulloni da cementare la sequenza operativa sarà la seguente:

a) perforazione mediante trapano di diametro e lunghezza adeguato al tipo di bullone adottato;
b) pulizia del foro con aria compressa , posizionamento e orientamento del bullone;

c) cementazione del bullone e relativa maturazione;
d) verifica della presa della cementazione;
e) numerazione dei bulloni;
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:

- con testa di misura esterna alla superficie di misura e protetta con cappellotto in plastica;
- con testa di misura all'interno della roccia o immersa nel calcestruzzo.

In entrambi i casi si dovrà sempre verificare che la parte filettata del bullone permetta la completa e libera battuta a fondo del giunto cardanico di collegamento della bindella a nastro.

Nel caso di testa di misura sporgente si dovrà verificare che la stessa non interferisca con il profilo degli ostacoli della linea.

In caso di impiego di bulloni saldati le fasi da a) a d) sono sostituite dall'operazione di saldatura che deve fissare il bullone in maniera salda alla struttura da monitorare e con la corretta orientazione.

La misura consiste nello stendere la bindella agganciandone le estremità, provviste di snodi sferici (giunto cardanico), su due bulloni di convergenza. Posizionato il distometro, si provvederà al tensionamento della bindella ed alla lettura meccanica o digitale sul comparatore.

Per ciascuna coppia di chiodi dovranno essere eseguite almeno tre letture adottando poi il valore medio delle stesse. Lo scarto ammissibile su lunghezze fino a 10 m è mediamente inferiore ai 10 centesimi di metro per una lettura orizzontale ed ai 15 centesimi di metro per una diagonale. Se il suddetto scarto risulta maggiore in una delle tre letture, si dovrà eseguire una quarta lettura e scartare il valore anomalo.

Prima di ogni serie di misurazioni dovrà essere eseguita la taratura dello strumento servendosi dell'apposito telaio di calibrazione in dotazione.

B2. Mire ottiche

La mira ottica dovrà essere installata, per mezzo degli adattatori previsti, su un bullone di convergenza oppure attraverso la saldatura diretta a strutture metalliche tipo centine; in ogni caso l'installazione della mira ottica deve essere tale da garantire la ripetibilità delle misure sempre con la stessa precisione.

Per l'installazione dei bulloni si dovranno seguire le prescrizioni sopra riportate. La mira ottica sarà fissata successivamente per mezzo di un adattatore con filettatura femmina, avvitandola a fondo.

Per le mire ottiche installate per saldatura si dovrà adottare la seguente procedura di massima:

- pulire accuratamente la superficie di saldatura rimuovendo l'eventuale ruggine con una levigatrice o carta smerigliata;
- eliminare eventuali irregolarità nella superficie e/o tracce di grasso;
- segnare esattamente la posizione della saldatura;
- eseguire la saldatura;
- verificare che la saldatura sia stata effettuata a perfetta regola d'arte secondo i criteri della normativa vigente.

Le mire in opera dovranno essere adeguatamente protette contro urti o danneggiamenti fortuiti.

Sempre allo scopo di garantire la ripetibilità delle misure con la stessa precisione la stazione topografica dovrà essere preferibilmente sistemata su un supporto fisso reso solidale alla parete della galleria (o della struttura da monitorare) ad una distanza massima non superiore a 100 m .

Nel caso in cui sia impossibile realizzare il supporto fisso, si dovrà cercare di posizionare lo strumento topografico in posizione tale da eseguire letture successive in posizioni simili rispetto alla sezione da monitorare.

La misura consiste nel rilevare la distanza lineare ed il relativo valore angolare per ciascuna mira ottica.

Documenti da consegnare.

Per ogni serie di misure dovranno essere forniti i seguenti elaborati:

a) Tabella di tutte le misure effettuate, delle medie calcolate e data dell'effettuazione delle letture;
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.
d) Schema geometrico con le posizioni di tutti i chiodi/mire ottiche.

3.8.1.16 Installazione di cella di pressione.

Le celle di pressione sono impiegate per il controllo delle pressioni totali nel terreno, nel calcestruzzo, nella roccia e nei punti di interfaccia tra i suddetti materiali.

A. Attrezzatura

La cella di pressione è costituita dai seguenti elementi:

- cella di pressione (piatto sensore);
- tubo idraulico di collegamento;
- trasduttore di pressione.

La cella di pressione (piatto sensore) è costituita da due sottile lastre in acciaio inossidabile saldate ai bordi al cui interno è contenuto un fluido in pressione, in genere olio disaerato sotto vuoto spinto, per ottenere la minima compressibilità dell'olio.

La pressione esercitata dal terreno agisce sull'elemento sensibile della cella e viene trasmessa mediante il fluido ad un trasduttore di pressione. Il trasduttore di pressione può essere di diversi tipi: meccanico, di tipo elettrico in corrente con uscita standard 4-20 mA oppure a corda vibrante.

La cella di pressione può essere di forma circolare, rettangolare o qualsiasi; in generale per misure in calcestruzzo si dovranno impiegare celle a forma rettangolare o quadrata, mentre per applicazioni in terreni sono preferibili celle circolari e rettangolari.

Il tipo di cella, inoltre, dovrà essere scelto in funzione del campo di pressione previsto in sito (0-5 MPa, o 0-20 MPa).

Nel calcestruzzo dovranno essere impiegate celle di pressione dotate di valvola di ripressurizzazione al fine di poter ripressurizzare la cella se, a seguito della maturazione del calcestruzzo, si formano delle superfici di discontinuità tra il calcestruzzo e la cella stessa. Tale operazione di ripristino dovrà essere eseguita al termine del raffreddamento del calcestruzzo e con l'ausilio di una particolare attrezzatura di ricarica dotata di manometro.

B. Modalità esecutive e misure

Le modalità di installazione variano in funzione del tipo di struttura da monitorare e del tipo di terreno interessato dall'installazione.

B.1. Installazione in terreni

Se il terreno interessato non è uniforme e la posizione della cella è orizzontale si dovrà seguire la seguente procedura:

- preparare uno strato di sabbia di circa 10 cm, compattato a mano;
- posizionare la cella di pressione a contatto con lo strato di sabbia;
- ricoprire la cella con più strati di sabbia compattati a mano e con uguale densità, per uno spessore totale di 20 cm.

Se il terreno interessato è uniforme e la posizione della cella è orizzontale si dovrà procedere nel modo seguente:

- compattare a mano il terreno naturale;
- posizionare la cella di pressione;
- ricoprire la cella con il terreno naturale compattato a mano in modo uniforme.

La procedura descritta deve essere seguita anche in presenza di terreni coesivi.

In caso di installazioni verticali le procedure da seguire possono variare in base alla specificità delle situazioni. In generale comunque si dovrà procedere in modo tale da garantire il perfetto contatto tra le due facce della cella di pressione e il terreno circostante ricorrendo anche a preventive operazioni di compattazione manuale del terreno a contatto come nel caso della installazione orizzontale.

B2. Installazione al contatto roccia/rivestimento in galleria

La cella di pressione deve essere posizionata in modo tale da garantire un contatto perfetto ed il più possibile vicino alla superficie rocciosa.

La cella deve essere posizionata secondo la seguente procedura:

- pulizia e livellazione della superficie di applicazione;
- applicazione di un sottile strato di cemento a presa rapida alla parete rocciosa;
- posizionamento della cella utilizzando il telaio metallico saldato al contorno della cella stessa;
- ricoprimento della faccia a vista della cella di pressione con uno strato di malta.

Il tubo idraulico di collegamento e il trasduttore di pressione dovranno essere protetti in maniera adeguata per evitare un loro danneggiamento in fase di getto del calcestruzzo.

B3. Installazione entro il calcestruzzo

Per installazioni all'interno del rivestimento di una galleria, la cella di pressione può essere utilizzata per misurare sia le pressioni radiali sia quelle tangenziali.

Per la misura delle tensioni radiali si dovrà seguire la procedura indicata al punto B2 per installazioni al contatto roccia-rivestimento.

Per la misura delle tensioni tangenziali la cella deve essere posizionata inglobandola nel calcestruzzo, utilizzando il telaio metallico saldato al contorno, fissata all'armatura o ai rinforzi metallici del calcestruzzo o agli anelli di rinforzo della struttura oppure mediante supporti di legno fissati in appositi fori.

In ogni caso la cella di pressione dovrà essere ben fissata in maniera tale da non subire rotazioni o spostamenti durante la fase di getto del calcestruzzo.

Il tubo idraulico di collegamento con la centralina di lettura non deve subire stiramenti o schiacciamenti per cui è consigliabile collegare i tubi alle armature o ai rinforzi presenti ricoprendo i tubi stessi con un getto di malta.

Dopo qualche giorno dall'installazione della cella di pressione si dovrà verificare la continuità del contatto cella/rivestimento ed eventualmente procedere alla ripressurizzazione della cella.

Verificata la continuità del contatto cella/terreno (rivestimento), si procederà al precarico della cella eseguendo al termine della stessa una misura di controllo che comunque non deve essere presa come misura iniziale dal momento che la operazione di precarico della cella provoca una perturbazione nel sistema.

Sarà necessaria attendere alcune ore prima della stabilizzazione e comunque si consiglia di eseguire la misura iniziale ("zero") qualche giorno dopo il precarico della cella.

Documenti da consegnare.

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) Relazione riepilogativa con nota interpretativa delle misure rilevate.

Riferimenti normativi:

- ISRM (1980). Suggested Methods for Pressure Monitoring Using Hydraulic Cells, Document n° 6.

3.8.1.17 Installazione ed esecuzione di prova con martinetto piatto.

La prova misura la variazione dello stato tensionale in un volume limitato della roccia (o muratura, calcestruzzo) indotta da un taglio piano di piccole dimensioni eseguito perpendicolarmente alla parete rocciosa.

Dalla misura dello sforzo necessario a ripristinare le condizioni precedenti al taglio si ricavano lo stato di sollecitazione e le caratteristiche di deformabilità esistenti nella roccia o nella struttura nel punto di prova.

A. Attrezzatura

L'attrezzatura dovrà comprendere:

- sega circolare con disco diamantato, dotata di un sistema per il fissaggio alla parete e di una asta di guida per la realizzazione della fessura di prova; lo spessore del disco diamantato dovrà essere scelto in funzione dello spessore del martinetto piatto da alloggiare nella fessura;
- martinetto piatto, costituito da due lamine di acciaio saldate lungo il perimetro tra le quali viene immesso olio disaerato in pressione, in grado di consentire una deformazione pressoché parallela delle due lamine; lo spessore del martinetto dovrà essere compreso tra 4 e 6 mm in funzione della pressione massima applicabile durante la prova; la forma dovrà essere 'semicircolare' (con dimensioni di 350 x 260 mm,) oppure, in alternativa, rettangolare (con dimensioni pari a 400 x 200 mm); dimensioni diverse devono essere preventivamente approvate dalle Ferrovie;
- manometro o coppia di manometri con diverso fondo scala per la lettura della pressione, in grado di garantire una precisione di 0,1 MPa, o in alternativa trasduttore di pressione di medesima precisione;
- pompa idraulica per la messa in pressione del martinetto, in grado di mantenere la pressione costante per almeno 5 minuti;
- tubazione idraulica di collegamento;
- serie di basi di misura ed estensimetro meccanico rimovibile oppure trasduttori elettrici di spostamento, con una precisione minima di 0,01 mm.

L'utilizzo di attrezzature diverse da quelle specificate, dovrà essere sottoposto a preventiva autorizzazione da parte di Ferrovie.

B. Modalità esecutive

Tenuto conto delle dimensioni dei martinetti piatti di uso comune in Italia e considerando preferibile l'esecuzione del taglio di prova con attrezzatura che permetta l'inserimento del martinetto piatto senza dover ricorrere alla successiva cementazione, la prova dovrà essere eseguita in conformità a quanto riportato nel seguito. La prova dovrà seguire la seguente procedura:

a) individuazione del punto di prova nella parete, pulizia e livellazione della superficie, evidenziazione della posizione del martinetto;
b) installazione sulla parete di almeno 12 basi di misura, disposte simmetricamente (6 per ogni lato) rispetto alla linea sulla quale si eseguirà il taglio, secondo 3 sezioni di misura ortogonali alla direzione di taglio, di cui una centrale e le altre due laterali e alla stessa distanza dalla prima (ad es. a L/4, dove L è la dimensione maggiore del martinetto); la distanza delle basi di misura dalla linea di riferimento invece potrà essere pari a L/2 e a L/4: ad es. per un martinetto di dimensioni 40 x 20 cm le basi di misura potranno essere disposte simmetricamente rispetto alla linea di riferimento ad una distanza di 10 cm e 20 cm e la distanza tra le sezioni di misura potrà essere di 10 cm; una diversa disposizione delle basi di misura deve essere preventivamente concordata con le Ferrovie;
c) misura delle distanze reciproche tra le basi installate (lettura "zero"), in corrispondenza delle diverse sezioni;
d) esecuzione di un taglio piano, normale alla parete, equidistante dalle basi di misura, di dimensioni tali da alloggiare il martinetto piatto; il taglio dovrà essere eseguito utilizzando una sega dotata di disco diamantato munita di un apposito telaio di guida, parallelo alla direzione di taglio;
e) misura della distanza tra le basi e registrazione dello spostamento delle stesse dopo l'esecuzione del taglio e del conseguente rilascio tensionale; la misura dovrà poi essere ripetuta ad intervalli regolari fino al raggiungimento della massima deformazione (creep);
f) dilatazione del martinetto, con incrementi di carico di 0,5 MPa, fino ad annullare per intero lo spostamento delle basi dovuto al taglio, annotando i diversi gradini di carico applicati ed i relativi spostamenti delle basi, fino a raggiungere il carico a cui corrisponde il ripristino della distanza tra le basi di misura che esisteva prima dell'esecuzione del taglio; il carico massimo andrà mantenuto per 15 minuti in modo da misurare la deformazione di creep, leggendo le deformazioni delle basi ogni 5 minuti; il carico deve quindi essere riportato a zero seguendo gli stessi gradini utilizzati precedentemente (decrementi di 0,5 MPa) e leggendo le deformazioni delle basi corrispondenti; anche la pressione nulla andrà tenuta per 15 minuti, leggendo le deformazioni delle basi ogni 5 minuti.

Se richiesto dalle Ferrovie la prova potrà essere integrata mediante l'esecuzione di altri cicli di prova a pressione crescente impiegando almeno 10 uguali incrementi tensionali per ciascun ciclo fino alla massima pressione raggiungibile, funzione del tipo di martinetto impiegato, delle caratteristiche di resistenza della roccia (o calcestruzzo/muratura) e della pressione di ripristino registrato nel primo ciclo.

Ciascun martinetto dovrà rimanere in posto, in piena funzionalità, per l'esecuzione di eventuali ulteriori prove di monitoraggio e rimarrà quindi di proprietà delle Ferrovie. Su richiesta delle Ferrovie la prova potrà essere eseguita con due martinetti piatti paralleli per la determinazione delle caratteristiche di deformabilità e di resistenza a rottura.

La prova viene eseguita isolando nell'ammasso roccioso/nella muratura un campione della struttura in esame delimitato alle basi da due martinetti piatti collegati alla medesima pompa idraulica che trasmettono una sollecitazione compressiva all'elemento isolato.

Le basi di misura devono essere posizionate in modo da definire le caratteristiche meccaniche "medie" del campione di roccia o della struttura, rilevando le deformazioni longitudinali e trasversali.

In generale, si può assumere che la distanza tra i due martinetti sia pari alla dimensione massima del martinetto impiegato e che le basi di misura (nel campione isolato tra i due martinetti) siano disposte su tre file costituite rispettivamente da tre, due e tre riscontri; con tale disposizione si individuano tre basi di misura perpendicolari ai piani di taglio (deformabilità assiale) ed una base di misura parallelo ai piani di taglio (deformabilità trasversale). 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 di un numero di cicli di carico/scarico, non inferiore a due (2), da concordare preventivamente con le Ferrovie, 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 dalle Ferrovie, potrà essere incrementato il carico applicato sui martinetti per valutare la resistenza a rottura della muratura/della roccia.

Documenti da consegnare.

Al termine delle prove dovrà essere consegnata la seguente documentazione:

a) Relazione conclusiva contenente fra l'altro:
   - data, luogo, disposizione e numero delle prove e schema geometrico della prova;
   - documentazione fotografica delle varie fasi della prova compresa la situazione dopo il taglio e prima dell'applicazione del martinetto;
   - descrizione dei materiali che compongono le strutture esaminate (caratteristiche dei mattoni o delle pietre e della malta, presenza di umidità per risalita capillare ecc…) ed eventuale documentazione fotografica;descrizione e specifiche tecniche delle attrezzature utilizzate con marca, modello e numero di matricola;descrizione delle condizioni delle murature o dei terreni al termine delle prove, con documentazione fotografica;
   - valori dei carichi progressivamente applicati, misure di convergenza effettuate e relativi diagrammi sforzi-deformazioni;
   - tempo richiesto per lo svolgimento delle diverse fasi di prova;
   - valore dello stato di sollecitazione misurato e del 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;
   - metodo di calcolo adottato e fattori correttivi introdotti per la determinazione dello stato di sforzo e del modulo di elasticità;
   - Certificato di taratura per lotto di produzione (per martinetti piatti di dimensioni standard) o certificato di taratura singolo (per martinetti piatti di dimensioni diverse dallo standard).
   - copia del certificato di taratura dei manometri o traduttore di pressione e degli estensimetri rimovibili di data non anteriore di sei mesi alla data di prova.

Riferimenti normativi:

- ASTM D4729-87 (1997). Standard Test Method for In Situ Stress and Modulus of Deformation Using the Flatjack Method.

3.8.2 PROVE PENETROMETRICHE E DILATOMETRICHE CONTINUE

3.8.2.1 Prova penetrometrica statica eseguita con dispositivo a punta meccanica (CPT)

La prova consiste nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta conica di dimensioni e

caratteristiche standard, infissa a velocità costante (pari a 2 cm/sec ± 0.5 cm/sec) 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.

A. Attrezzatura

Le attrezzature richieste sono le seguenti:

- dispositivo di spinta;
- punta penetrometrica;
- aste;
- dispositivo di misura.

A1. Dispositivo di spinta

Deve essere usato un martinetto a comando idraulico in grado di esercitare la spinta richiesta (10 o 20 ton) sulla duplice batteria di aste.

La corsa deve essere pari a 1 m. La velocità di infissione della batteria di aste sarà di 2 cm/s (± 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 modo tale che non si muova, rispetto al piano di campagna, durante l'azione di spinta.

A.2. Punta penetrometrica

La punta conica telescopica può essere, entro certi limiti, infissa indipendentemente dalla batteria di aste esterne cave, con le seguenti dimensioni:

- diametro di base del cono dc: 35,7± 0,4 mm
- angolo di apertura del cono: 60°± 5°
- area della base del cono: 1000 mm^2
- raggio della punta del cono: < 3 mm

La punta permetterà la misura di:

- resistenza alla punta qc
- resistenza per attrito laterale fs

La resistenza per attrito laterale viene rilevata per mezzo di un manicotto d'attrito con le seguenti caratteristiche:

- superficie laterale del manicotto: 150 cm^2 ± 2%
- diametro esterno manicotto ds: $dc \leq ds \leq dc + 0,5$ mm (dc = diametro della base del cono)

A.3. Aste

Devono essere utilizzate aste di tipo cavo con diametro esterno di 36 mm. Le astine interne devono essere a sezione piena di diametro inferiore di 0,5÷1 mm rispetto a quello interno delle aste cave. Eventuali anelli allargatori devono essere posizionati ad almeno 100 cm dalla base del cono.

A.4. Dispositivo di misura

Dovrà essere costituito da un manometro con fondo scala massimo pari a 10 MPa ed un altro 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:

- 5 % del valore misurato;
- 1 % del valore di fondo scala.

B. 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.

Deve essere controllata periodicamente durante la prova la rettilineità delle aste di spinta, soprattutto per le 5 aste inferiori della batteria.

Periodicamente si deve controllare lo stato di usura della punta del cono, del manicotto di attrito e della prolunga della punta penetrometrica.

I manometri del dispositivo di misura dovranno essere corredati da un certificato di taratura rilasciato da un Ente o Società autorizzata, non anteriore a tre mesi dall'inizio della prova.

C. 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 (4 cm) e della punta + manicotto (4 cm), misurando la pressione di spinta nel primo e nel secondo caso; si faranno quindi avanzare le aste cave fino alla chiusura della batteria telescopica (12 cm), 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 (rifiuto) 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 alle Ferrovie.

La prova CPT generalmente dovrà essere limitata a 30 metri di profondità, indagini di profondità maggiore dovranno essere approvate dalle Ferrovie.

Documenti da consegnare

La documentazione di prova comprenderà:

a) Relazione conclusiva contenente la descrizione di tutte le operazioni eseguite e dei risultati ottenuti;
b) Planimetria in scala non inferiore a 1:5000 recante l'ubicazione precisa di tutte le prove effettuate;
c) Elaborati grafici e tabellari riportanti per ciascuna prova:
   - informazioni generali (località, progr. km, data di esecuzione, nominativo dell'operatore ecc.);
   - numero/sigla della prova;
   - caratteristiche dell'attrezzatura;
   - caratteristiche della punta;
   - fotocopia delle tabelle di cantiere, con indicazione dei fattori moltiplicativi di interpretazione delle letture.
   - certificati di taratura delle punte impiegate non anteriori a tre mesi da quella dell'assunzione della prova;
   - quota assoluta del punto di prova;

- profondità della falda;
- grafici della resistenza della punta qc, dell'attrito laterale locale fs e del rapporto fs/qc calcolato fra valori misurati alla medesima profondità La profondità deve essere diagrammata in ordinata scala 1:100; i valori di qc, fs ed il rapporto fs/qc devono essere diagrammati in ascissa:
  - 1 cm = 2 MPa per qc;
  - 1 cm = 50 kPa per fs;
  - 1 cm = 1% per fs/qc %.
- grafico dell'inclinazione delle aste in funzione della profondità;
- posizione di eventuali anelli allargatori;
- note ed osservazioni.

Riferimenti normativi:

- 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.
- UNI ENV 1997-1 (2005) – Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali
- UNI ENV 1997-2 (2007) – Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica - Parte 2: Indagini e prove nel sottosuolo
- UNI EN 1997-2 (2007) – Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica – Parte 3: Progettazione assistita con prove in sito".
- UNI EN ISO 22476-12 (2009) - Indagini e prove geotecniche - Prove in sito - Parte 12:Prova meccanica di penetrazione del cono (CPTM)

3.8.2.2 Prova penetrometrica statica eseguita con dispositivo a punta elettrica (CPTE).

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 cave alla cui estremità inferiore è connessa la punta.

A. Attrezzatura

Le attrezzature richieste sono le seguenti:

- dispositivo di spinta;
- punta penetrometrica;
- aste;
- dispositivo di misura.

A.1. Dispositivo di spinta

Deve essere usato un martinetto a comando idraulico in grado di esercitare la spinta richiesta (10 o 20 ton) sulla duplice batteria di aste.

La corsa minima deve essere pari ad almeno 1 m. La velocità di infissione della batteria di aste sarà di 2 cm/s (± 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 modo tale che non si muova, rispetto al piano di campagna, durante l'azione di spinta.

L'attrezzatura dovrà essere posizionata in modo da fornire una spinta nella direzione verticale con una deviazione ammissibile dalla verticale non superiore al 2%, verificata con un apposito sensore inclinometrico.

A.2. Punta penetrometrica

La punta penetrometrica è costituita da una punta conica, solidale con la batteria di aste cave, ed è caratterizzata dalle seguenti dimensioni:

- diametro di base del cono dc: 35,7 (34,7÷36,0) mm
- altezza della parte conica del cono: 31,0 (24,0÷31,3) mm
- angolo di apertura del cono: 60°
- altezza dell'estensione cilindrica: ≤ 5 mm

La punta permetterà la misura di:

- resistenza alla punta qc
- resistenza per attrito laterale fs

La resistenza per attrito laterale viene rilevata per mezzo di un manicotto d'attrito liscio, ubicato subito al di sopra della punta conica con le seguenti caratteristiche:

- superficie laterale del manicotto: 150 cm^2 ± 2%
- diametro esterno manicotto ds: dc ≤ ds ≤ dc + 0,35 mm (dc = diametro della base del cono)

La punta di tipo elettrico sarà strumentata con celle di carico estensimetriche per la misura di fs e qc , con i seguenti fondo scala:

- 5000 kg per qc (50 Mpa);
- 750 kg per fs (500 kPa).

Qualora necessario, le Ferrovie si riservano di richiedere l'uso di punte con sensibilità massima diversa (qc= 10÷20 MPa per terreni teneri o poco addensati; qc= 70÷100 MPa per terreni molto addensati).

La punta dovrà essere dotata di un sensore inclinometrico per la misura continua della deviazione dalla verticale.

A.3. Aste

Devono essere utilizzate aste di tipo cavo con diametro esterno di 36 mm.

Eventuali anelli allargatori dovranno essere posizionati ad almeno 100 cm dalla base del cono.

A.4. Dispositivo di misura

Oltre alle celle di carico estensimetriche della punta, saranno previsti:

- centralina elettronica per la ricezione e la trasmissione dei dati;
- visualizzatore e registratore grafico;
- registratore digitale dei dati con possibilità di rielaborazione e restituzione dei dati stessi; i dati devono essere memorizzati ogni 2 cm di penetrazione della punta;
- sincronizzatore velocità di avanzamento punta/registratore grafico analogico.

La precisione di misura deve essere contenuta entro i seguenti limiti massimi:

- 5 % del valore misurato;
- 1 % del valore di fondo scala.

B. 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;

Prima di eseguire le prove penetrometriche l'Esecutore 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'Esecutore deve consegnare alle Ferrovie un certificato attestante che la taratura della punta stessa sia stata effettuata in data non anteriore a tre mesi 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'Esecutore deve controllare, con le modalità approvate dalle Ferrovie, 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 delle Ferrovie.

C. 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 di norma sarà 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 qc e fs;
- raggiungimento della massima capacità di spinta del penetrometro;
- deviazione della punta verticale di 10°, se repentina, o di 15° 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° l'Esecutore deve sospendere la prova ed estrarre la batteria penetrometrica e, se richiesto dalle Ferrovie, deve procedere alla perforazione del terreno resistente onde proseguire per gli strati successivi la prova medesima.

La perforazione, di norma, deve essere realizzata utilizzando una tubazione provvisoria di rivestimento con diametro interno di 50÷55 mm e diametro esterno 70÷75 mm, che funge anche da tubazione guida.

Qualora si debba eseguire la perforazione con diametri maggiori di 75 mm, prima di riprendere la esecuzione della prova penetrometrica, deve essere inserita all'interno del foro una tubazione guida come sopra descritta.

Documenti da consegnare

La documentazione di prova comprenderà:

a) Relazione conclusiva contenente la descrizione di tutte le operazioni eseguite e dei risultati ottenuti;
b) Planimetria in scala non inferiore a 1:5000 recante l'ubicazione precisa di tutte le prove effettuate;

c) Elaborati grafici e tabellari riportanti per ciascuna prova:
   - informazioni generali (località, pr. km, data di esecuzione, nominativo dell'operatore ecc.);
   - numero/sigla della prova;
   - caratteristiche dell'attrezzatura;
   - caratteristiche della punta;
   - fotocopia delle tabelle di cantiere, con indicazione dei fattori moltiplicativi di interpretazione delle letture.
   - certificati di taratura delle punte impiegate non anteriori a tre mesi da quella dell'assunzione della prova;
   - quota assoluta del punto di prova ed indicazioni di eventuali prefori o perforazioni di azzeramento per presenza di strati consistenti;
   - profondità della falda;
   - grafici della resistenza della punta qc, dell'attrito laterale locale fs e del rapporto fs/qc calcolato fra valori misurati alla medesima profondità. La profondità deve essere diagrammata in ordinata scala 1:100; i valori di qc, fs ed il rapporto fs/qc devono essere diagrammati in ascissa:
     - 1 cm = 2 MPa per qc;
     - 1 cm = 50 kPa per fs;
     - 1 cm = 1% per fs/qc %.
   - angolo di inclinazione della punta rispetto alla verticale (°) e scostamento dalla verticale (m);
   - posizione di eventuali anelli allargatori;
   - note ed osservazioni.

Riferimenti normativi:

- UNI ENV 1997-1 (2005) – Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali
- UNI ENV 1997-2 (2007) – Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica - Parte 2: Indagini e prove nel sottosuolo
- UNI EN 1997-2 (2007). – Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica – Parte 3: Progettazione assistita con prove in sito".
- UNI EN ISO 22476-12 (2009). Indagini e prove geotecniche - Prove in sito - Parte 12:Prova meccanica di penetrazione del cono (CPTM)
- ISSMFE Technical committee on Penetration Testing (1988). Cone Penetration Test (CPT): International Reference Test Procedure.
- ASTM D5778-95 (2000). Standard Test Method for Performing Electronic Friction Cone and Piezocone Penetration Testing of Soils.

3.8.2.3 Prova penetrometrica statica eseguita con dispositivo a punta elettrica provvista di piezocono (CPTU).

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 qc della punta conica e resistenza per attrito laterale fs;
- pressione dei pori del terreno (somma della pressione idrostatica e della sovrappressione indotta dall'avanzamento della punta);
- dissipazione nel tempo della sovrappressione indotta nel terreno, a quote predeterminate, per la determinazione della pressione idrostatica e per la determinazione del coefficiente di permeabilità in direzione orizzontale kh e del coefficiente di dissipazione della sovrappressione idrostatica in direzione orizzontale ch.

A. Attrezzatura

Deve essere usato un martinetto a comando idraulico in grado di esercitare la spinta richiesta (10 o 20 ton) sulla duplice batteria di aste.

La corsa minima deve essere pari ad almeno 1 m. La velocità di infissione della batteria di aste sarà di 2 cm/s (± 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 modo tale che non si muova, rispetto al piano di campagna, durante l'azione di spinta.

L'attrezzatura dovrà essere posizionata in modo da fornire una spinta nella direzione verticale con una deviazione ammissibile dalla verticale non superiore al 2%, verificata con un apposito sensore inclinometrico.

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 delle Ferrovie.

A.1. Punta penetrometrica

La punta conica fissa, interamente solidale con il movimento delle aste cave, deve avere le seguenti dimensioni:

- diametro di base del cono dc: 35,7 (34,7÷36,0) mm
- altezza della parte conica del cono: 31,0 (24,0÷31,3) mm
- angolo di apertura del cono: 60°
- altezza dell'estensione cilindrica: ≤ 15 mm

La punta permetterà la misura di:

- resistenza alla punta qt (resistenza alla punta qc corretta in funzione della pressione interstiziale U);
- resistenza per attrito laterale ft (resistenza per attrito laterale fs corretta in funzione della pressione interstiziale U);
- pressione interstiziale U (somma della pressione idrostatica Uo e della sovrappressione indotta DU).

Il parametro fs sarà relativo ad un manicotto di attrito liscio con le seguenti dimensioni:

- superficie laterale del manicotto: 150 cm^2 ± 2%
- diametro esterno manicotto ds: dc ≤ ds ≤ dc + 0,35 mm (dc = diametro della base del cono)

Il manicotto sarà posizionato subito sopra il cono.

La punta dovrà essere dotata di un filtro poroso intercambiabile, posto preferibilmente alla base del cono, che permetterà la misura delle pressioni interstiziali U.

Il diametro del filtro poroso deve essere pari a: dc ≤ du ≤ dc + 0,2 mm (dc = diametro della base del cono).

La punta di tipo elettrico sarà strumentata con celle di carico estensimetriche per la misura di fs e qc , con i seguenti fondo scala:

- 5000 kg per qc (50 Mpa);
- 750 kg per fs (500 kPa).

Qualora necessario, le Ferrovie si riservano di richiedere l'uso di punte con sensibilità massima diversa (qc= 10÷20 MPa per terreni teneri o poco addensati; qc= 70÷100 MPa per terreni molto addensati).

La punta dovrà essere dotata di un sensore inclinometrico per la misura continua della deviazione dalla verticale.

A.2. 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 ed una puntazza conica del diametro di 50 mm, per eseguire eventuali prefori per raggiungere la falda.

A.3. Dispositivo di misura

Oltre alle celle di carico estensimetriche, in dotazione alla punta, dovranno prevedersi:

- centralina elettronica per la ricezione e la trasmissione dei dati;
- registratore grafico di qc, fs, u+Δu;
- registratore digitale dei dati con possibilità di rielaborazione e restituzione dei dati stessi; i dati devono essere memorizzati ogni 2 cm di penetrazione della punta;
- registratore grafico o stampante su carta per la registrazione della variazione della pressione 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.

A.4. Attrezzatura di disaerazione

Il filtro poroso ed il cono dovranno essere perfettamente disaerati adottando una delle seguenti metodologie:

- immersione per bollitura in una cella di disaerazione sottovuoto per circa 3 ore;
- disaerazione per bollitura, con immersione di filtro e cono per un periodo di tempo di sufficiente durata, in funzione del tipo di filtro;
- immersione del filtro poroso in glicerina calda in un contenitore sottovuoto ad ultrasuoni, combinando gli effetti del pompaggio sottovuoto e della vibrazione ad ultrasuoni; il cono verrà disaerato tramite iniezione di glicerina con siringa ipodermica.

Altre attrezzature, tipi di fluido e tecniche di disareazione dovranno essere autorizzate dalle Ferrovie.

B. Tarature e controlli

Oltre ai sistematici controlli circa lo stato della punta e del manicotto (geometria, rugosità) e delle aste cave (rettilineità 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.

Per ogni punta impiegata, l'Esecutore deve consegnare alle Ferrovie un certificato attestante che la taratura della punta stessa sia stata effettuata in data non anteriore a tre mesi da quella di esecuzione della prova.

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'eventuale preforo necessario per raggiungere la quota di falda dovrà essere preventivamente concordato ed autorizzato dalle Ferrovie

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 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 di norma 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 qc, fs, o pressione interstiziale;
- raggiungimento della massima capacità di spinta del penetrometro;
- deviazione della punta della verticale di 10°, se repentina, o di 15° 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.

G. Prova di dissipazione

L'avanzamento della punta provoca un aumento della pressione interstiziale nel terreno; la prova di dissipazione, eseguita arrestando la penetrazione, misura la velocità di riequilibrio della pressione dei pori da cui si può risalire alla compressibilità ed alla permeabilità del terreno.

Alla quota indicata dal programma si eseguirà la prova di dissipazione operando come di seguito:

- arresto della penetrazione della punta;
- sollevamento della testa di spinta in modo tale che l'accorciamento elastico delle aste, che si verifica in fase di penetrazione, possa scaricarsi verso l'alto lasciando libero il cono;

- in presenza di terreni particolarmente poco addensati o poco consistenti è opportuno ricorrere al bloccaggio della batteria di aste mediante freno o morsa in modo tale che il peso della batteria di aste non agisca sulla 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;
- la lettura sarà registrata manualmente sul grafico con i tempi in scala logaritmica.

La prova sarà considerata conclusa al 60-80% della dissipazione della sovrappressione indotta dalla punta.

A prova ultimata e ad avvenuta estrazione della punta l'Esecutore 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.

Documenti da consegnare

La documentazione di prova comprenderà:

a) Relazione conclusiva contenente la descrizione di tutte le operazioni eseguite e dei risultati ottenuti;
b) Planimetria in scala non inferiore a 1:5000 recante l'ubicazione precisa di tutte le prove effettuate;
c) Elaborati grafici e tabellari riportanti per ciascuna prova:
   - informazioni generali (località, pr. km, data di esecuzione, nominativo dell'operatore ecc…);
   - numero/sigla della prova;
   - caratteristiche dell'attrezzatura;
   - caratteristiche della punta e del piezocono (compreso il valore del fattore delle aree del cono) con indicazione di marca, modello e numero eventuale di matricola;
   - fotocopia delle tabelle di cantiere, con indicazione dei fattori moltiplicativi di interpretazione delle letture.
   - certificati di taratura delle punte impiegate non anteriori a tre mesi da quella dell'assunzione della prova;
   - quota assoluta del punto di prova;
   - profondità della falda;
   - grafici della resistenza della punta corretta qT, dell'attrito laterale locale corretto fT , della pressione dei pori U e del rapporto fT/qT calcolato fra valori misurati alla medesima profondità. La profondità deve essere diagrammata in ordinata scala 1:100; i valori di qT, fT , U ed il rapporto fT/qT devono essere diagrammati in ascissa:
     - 1 cm = 2 MPa per qT;
     - 1 cm = 50 kPa per fT;
     - 1 cm = 1% per fT/qT %.
   - tabulato delle misure eseguite alle varie profondità (ogni 2 cm), corrette per inclinazione, derive, ecc. Il tabulato deve comprendere le seguenti colonne:
     - qt cioè la qc corretta per l'influenza della pressione interstiziale (U) per effetto dell'area netta;
     - U cioè la U totale misurata diminuita della Uo corrispondente al carico idrostatico;
     - U/qt rapporto fra la U e la qt (qc corretta);
     - profondità.
   - angolo di inclinazione della punta rispetto alla verticale (°) e scostamento dalla verticale (m);
   - grafici delle prove di dissipazione con l'andamento della pressione interstiziale in funzione del logaritmo del tempo e tabelle contenenti le letture fatte ai diversi tempi;

- posizione di eventuali anelli allargatori;.
- note ed osservazioni.

Riferimenti normativi:

- UNI ENV 1997-1 (2005) – Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali
- UNI ENV 1997-2 (2007) – Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica - Parte 2: Indagini e prove nel sottosuolo
- UNI EN 1997-2 (2007) – Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica – Parte 3: Progettazione assistita con prove in sito".
- UNI EN ISO 22476-1 (2012). Indagini e prove geotecniche - Prove in sito - Parte 1: Prova penetrometrica con cono elettrico e piezocono)
- ISSMFE Technical committee on Penetration Testing (1988). Cone Penetration Test (CPT): International Reference Test Procedure.
- ASTM D5778-95 (2000). Standard Test Method for Performing Electronic Friction Cone and Piezocone Penetration Testing of Soils.

3.8.2.4 Prova penetrometrica statica eseguita con dispositivo a punta elettrica provvista di piezocono sismico (SCPTU).

La prova con piezocono sismico costituisce una variante rispetto alla 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 qc della punta conica e resistenza per attrito laterale fs;
- pressione dei pori del terreno (somma della pressione idrostatica e della sovrappressione indotta dall'avanzamento della punta);
- dissipazione nel tempo della sovrappressione indotta nel terreno, a quote predeterminate per la determinazione della pressione idrostatica e per la determinazione del coefficiente di permeabilità in direzione orizzontale kh e del coefficiente di dissipazione della sovrappressione idrostatica sempre in direzione orizzontale.
- velocità medie delle onde sismiche P ed S dei terreni attraversati alle varie profondità per metro ogni strato di terreno.

A. Attrezzatura

Deve essere usato un martinetto a comando idraulico in grado di esercitare la spinta richiesta (10 o 20 ton) sulla duplice batteria di aste.

La corsa minima deve essere pari ad almeno 1 m. La velocità media di infissione della batteria di aste sarà di 2 cm/s (+/- 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 modo tale che non si muova rispetto al piano di campagna, durante l'azione di spinta.

L'attrezzatura dovrà essere posizionata in modo da fornire una spinta nella direzione verticale con una deviazione ammissibile dalla verticale non superiore al 2%, verificata con un apposito sensore inclinometrico.

Il trasduttore di pressione deve essere "a bassa variazione di volume" e il suo fondo scala deve essere di norma pari a 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 delle Ferrovie.

Nella parte sommitale della punta verrà installato un manicotto di 49 mm di diametro contenente un geofono almeno biassiale, con assi fra loro perpendicolari disposti per misure orizzontali delle onde S. Sarà possibile, qualora la Direzione Lavori lo ritenesse opportuno, applicare un geofono triassiale, e senza ulteriori oneri per le FS. Gli accelerometri del geofono dovranno avere frequenza naturale di 10Hz.

A.1. Punta penetrometrica

La punta conica fissa, interamente solidale con il movimento delle aste cave, deve avere le seguenti dimensioni:

- diametro di base del cono dc: 35,7 (34,7÷36,0) mm
- altezza della parte conica del cono: 31,0 (24,0÷31,3) mm
- angolo di apertura del cono: 60°
- altezza dell'estensione cilindrica: ≤ 15 mm

La punta permetterà la misura di:

- resistenza alla punta qt (resistenza alla punta qc corretta in funzione della pressione interstiziale ΔU)
- resistenza per attrito laterale ft (resistenza per attrito laterale fs corretta in funzione della pressione interstiziale U)
- pressione interstiziale U (somma della pressione idrostatica Uo e della sovrappressione indotta DU)

Il parametro fs sarà relativo ad un manicotto di attrito liscio con le seguenti dimensioni:

- superficie laterale del manicotto: 150 cm2 ± 2%
- diametro esterno manicotto ds: dc ≤ ds ≤ dc + 0,35 mm (dc = diametro della base del cono)

Il manicotto sarà posizionato subito sopra il cono.

La punta dovrà essere dotata di un filtro poroso intercambiabile, posto preferibilmente alla base del cono, che permetterà la misura delle pressioni interstiziali U.

Il diametro del filtro poroso deve essere pari a: dc ≤ du ≤ dc + 0,2 mm (dc = diametro della base del cono).

La punta di tipo elettrico sarà strumentata con celle di carico estensimetriche per la misura di fs e qc , con i seguenti fondo scala:

- 5000 kg per qc (50 Mpa);
- 750 kg per fs (500 kPa).

Qualora necessario, le Ferrovie si riservano di richiedere l'uso di punte con sensibilità massima diversa (qc= 10÷20 MPa per terreni teneri o poco addensati; qc= 70÷100 MPa per terreni molto addensati).

La punta dovrà essere dotata di:

- sensore inclinometrico biassiale magneto-resistivo per la misura continua della deviazione dalla verticale con fondo scala di +/- 10 - +/- 20 gradi. La risoluzione del sensore inclinometrico dovrà essere di 0,1 gradi con precisione +/- 0,25 % della lettura.
- geofoni con distorsione ≤ 0,075 % tra 0 e 20°C e frequenze spurie ≥ 250 Hz e normale di 10 Hz e +/- 3,5 % smorzamento 68 % +/- 3,5 %, temperatura operativa -40/+90°C
- sensore per la misura della velocità di avanzamento

A.2. 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 ed una puntazza conica del diametro di 50 mm, per eseguire eventuali prefori per raggiungere la falda.

A.3. Dispositivo di misura

Oltre alle celle di carico estensimetriche, in dotazione alla punta, dovranno prevedersi:

- centralina elettronica per la ricezione e la trasmissione dei dati;
- registratore grafico di qc, fs, u+ Δu;
- registratore digitale dei dati con possibilità di rielaborazione e restituzione dei dati stessi; i dati devono essere memorizzati ogni 2 cm di penetrazione della punta;
- registratore grafico o stampante su carta per la registrazione della variazione della pressione 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;
- centralina per la ricezione, elaborazione, graficizzazione ed analisi dei segnali dinamici trasmessi da almeno 2 accelerometri costituenti il geofono. Tale centralina potrà anche essere associata a quella relativa per le misure di qc, fs, u+ Δu consentendo la valutazione dei tempi di arrivo di onde sismiche di taglio S ad ogni metro di approfondimento della punta. Il software della centralina dovrà consentire di scartare i segnali erratici, individuando i segnali più puliti su cui individuare e determinare con maggiore precisione i tempi di arrivo delle onde di taglio con precisione di 1 x 10-3 sec.

A.4. Attrezzatura di disaerazione

Il filtro poroso ed il cono dovranno essere perfettamente disaerati adottando una delle seguenti metodologie:

- immersione per bollitura in una cella di disaerazione sottovuoto per circa 3 ore;
- disaerazione per bollitura, con immersione di filtro e cono per un periodo di tempo di sufficiente durata, in funzione del tipo di filtro;
- immersione del filtro poroso in glicerina calda in un contenitore sottovuoto ad ultrasuoni, combinando gli effetti del pompaggio sottovuoto e della vibrazione ad ultrasuoni; il cono verrà disaerato tramite iniezione di glicerina con siringa ipodermica.

Altre attrezzature, tipi di fluido e tecniche di disareazione dovranno essere autorizzate dalle Ferrovie.

A.5. Sistema di energizzazione

Oltre al geofono applicato alla punta di penetrazione, per la determinazione della velocità di propagazione delle onde di taglio Vs, è necessario predisporre una sorgente del segnale sismico che generi onde di taglio di larga ampiezza e poca o assente componente compressiva. Pertanto attraverso il sistema di energizzazione dovrà essere realizzata una perturbazione sismica (onda) generata in direzione parallela alla superfice del suolo.

Il sistema di energizzazione, pertanto, potrà essere costituito da:

- traversina in legno pesante di dimensioni 1500 x 250 x 250 mm cui sono fissate due piastre in ferro di cm 250 x 250 mm per consentire la creazione delle onde di taglio. La traversina in legno verrà bloccata al terreno attraverso il peso dell'autocarro ad una distanza almeno di 3 metri dalla verticale del penetrometro;
- pendolo con massa metallica che urta orizzontalmente una delle due piastre collegate dalla traversina in legno.

Altri dispositivi di energizzazione, idonei per la trasmissione delle onde di taglio, potranno essere adoperati purché preventivamente approvati dalle Ferrovie.

In ogni caso il dispositivo di energizzazione dovrà essere distante almeno 3 metri dalle aste di infissione della punta e con caratteristiche tali da trasmettere un buon impulso in direzione parallela al suolo.

B. Tarature e controlli

Oltre ai sistematici controlli circa lo stato della punta e del manicotto (geometria, rugosità) e delle aste cave (rettilineità 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 sensore applicato al piezocono dovranno essere sempre disponibili in cantiere.

Prima dell'inizio della campagna di prove SCPTU , dovranno essere misurate le lunghezze delle aste in modo da avere la necessaria precisione per le misure delle profondità di infissione (+/- 0,19 di L).

Per ogni punta impiegata, l'Esecutore deve consegnare alle Ferrovie un certificato attestante che la taratura della punta stessa sia stata effettuata in data non anteriore a tre mesi da quella di esecuzione della prova.

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'eventuale preforo necessario per raggiungere la quota di falda dovrà essere preventivamente concordato ed autorizzato dalle Ferrovie

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 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

Dovrà essere redatto un Programma di esecuzione delle prove che tenga conto delle seguenti necessità:

- la velocità di infissione della batteria di aste dovrà essere di 2 cm/s, costante nel corso della prova, indipendentemente dalla resistenza offerta dal terreno;

- negli strati coesivi la punta dovrà arrestarsi per l'effettuazione delle previste prove di dissipazione della sovrappressione interstiziale, le quote di effettuazione delle prove di dissipazione dovranno essere concordate con la DL delle Ferrovie;
- dovrà essere effettuata una prova sismica ogni metro di profondità a partire da 3 metri dal piano campagna fino al raggiungimento di almeno 31 metri.

Il penetrometro dovrà essere posizionato opportunamente in modo da garantire la verticalità dell'applicazione del carico.

L'elemento poroso del piezocono dovrà 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 avrà inizio alla base del tratto preforato, inserendo nel terreno il piezocono protetto dal guanto di gomma.

La prova sarà di norma 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 qc, fs, o pressione interstiziale;
- raggiungimento della massima capacità di spinta del penetrometro;
- deviazione della punta della verticale di 10°, se repentina, o di 15° 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.

G. Prova di dissipazione

L'avanzamento della punta provoca un aumento della pressione interstiziale nel terreno; la prova di dissipazione, eseguita arrestando la penetrazione, misura la velocità di riequilibrio della pressione dei pori da cui si può risalire alla compressibilità ed alla permeabilità del terreno.

Alla quota indicata dal programma si eseguirà la prova di dissipazione operando come di seguito:

- arresto della penetrazione della punta;
- sollevamento della testa di spinta in modo tale che l'accorciamento elastico delle aste, che si verifica in fase di penetrazione, possa scaricarsi verso l'alto lasciando libero il cono (in presenza di terreni particolarmente poco addensati o poco consistenti è opportuno ricorrere al bloccaggio della batteria di aste mediante freno o morsa in modo tale che il peso della batteria di aste non agisca sulla 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;
- la lettura sarà registrata manualmente sul grafico con i tempi in scala logaritmica.

La prova sarà considerata conclusa al 60-80% della dissipazione della sovrappressione indotta dalla punta.

A prova ultimata e ad avvenuta estrazione della punta l'Esecutore 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.

Relativamente alle prove sismiche le stesse dovranno essere effettuate con la seguente modalità:

- arresto alla penetrazione della punta;
- attivazione del geofono e dello strumento di registrazione dati;
- predisposizione del sistema di energizzazione;
- scollegamento della testa delle batterie di aste dall'apparecchio di spinta;
- energizzazione con massa battente di almeno 10 kg trasmessa al suolo in direzione parallela alla superficie.

Terminata la registrazione dei dati, dovrà essere ricollegato l'apparecchio di spinta alla testa delle aste e dovrà essere disattivato il geofono ed il sistema di registrazione (relativamente agli accelerometri) per poi proseguire nella penetrazione del terreno.

A seguito di ogni prova sismica dovrà essere verificata la verticalità della punta.

Documenti da consegnare

La documentazione di prova comprenderà:

a) Relazione conclusiva contenente la descrizione di tutte le operazioni eseguite e dei risultati ottenuti;
b) Planimetria in scala non inferiore a 1:5000 recante l'ubicazione precisa di tutte le prove effettuate;
c) Elaborati grafici e tabellari riportanti per ciascuna prova:
   - informazioni generali (località, pr. km, data di esecuzione, nominativo dell'operatore ecc…);
   - numero/sigla della prova;
   - caratteristiche dell'attrezzatura;
   - caratteristiche della punta e del piezocono (compreso il valore del fattore delle aree del cono) con indicazione di marca, modello e numero eventuale di matricola;
   - fotocopia delle tabelle di cantiere, con indicazione dei fattori moltiplicativi di interpretazione delle letture;
   - certificati di taratura dei sensori delle punte impiegate non anteriori a tre mesi da quella dell'assunzione della prova;
   - quota assoluta del punto di prova;
   - profondità della falda;
   - grafici della resistenza della punta corretta qT, dell'attrito laterale locale corretto fT , della pressione dei pori U e del rapporto fT/qT calcolato fra valori misurati alla medesima profondità, profondità-tempo(s) di arrivo delle onde S, velocità delle onde sismiche di taglio. La profondità deve essere diagrammata in ordinata scala 1:100; i valori di qT, fT,U, fT/qT, ta, Vs devono essere diagrammati in ascissa:
     - 1 cm = 2 MPa per qT;
     - 1 cm = 50 kPa per fT;
     - 1 cm = 1% per fT/qT %
     - 1 cm = 0,05 sec
     - 1cm = 150 m/s
   - tabulato delle misure eseguite alle varie profondità (ogni 2 cm), corrette per inclinazione, derive, ecc. Il tabulato deve comprendere le seguenti colonne:
     - qt cioè la qc corretta per l'influenza della pressione interstiziale (U) per effetto dell'area netta;
     - U cioè la U totale misurata diminuita della Uo corrispondente al carico idrostatico;
     - U/qt rapporto fra la U e la qt (qc corretta);
     - profondità;

- angolo di inclinazione della punta rispetto alla verticale (°) e scostamento dalla verticale (m);
- tempi di arrivo delle onde riportati ogni metro;
- velocità delle onde riportata ogni metro;
- grafici delle prove di dissipazione con l'andamento della pressione interstiziale in funzione del logaritmo del tempo e tabelle contenenti le letture fatte ai diversi tempi;
- posizione di eventuali anelli allargatori;
- note ed osservazioni.

Riferimenti normativi:

- UNI ENV 1997-1 (2005) – Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali
- UNI ENV 1997-2 (2007) – Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica - Parte 2: Indagini e prove nel sottosuolo
- UNI EN 1997-2 (2007) – Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica – Parte 3: Progettazione assistita con prove in sito".
- UNI EN ISO 22476-1 (2012). Indagini e prove geotecniche - Prove in sito - Parte 1: Prova penetrometrica con cono elettrico e piezocono)
- ISSMFE Technical committee on Penetration Testing (1988). Cone Penetration Test (CPT): International Reference Test Procedure.
- ASTM D5778-95 (2000). Standard Test Method for Performing Electronic Friction Cone and Piezocone Penetration Testing of Soils.

3.8.2.5 Prova penetrometrica dinamica continua eseguita con massa battente pesante 63,5-73 kg, (DPSH).

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.

A. Attrezzatura

Gli standard per tale prova sono definiti da due associazioni di settore:

- AGI - Associazione Geotecnica Italiana;
- ISSMFE - International Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering.

Tali standard sono differenti e vengono di seguito descritti.

Secondo l'AGI, 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÷2 m
   - Peso per metro lineare aste: M = 4,6 ±0,5 kg
   - Diametro esterno aste interne: Øest = 34 mm
   - Diametro esterno rivestimento: Øest = 48 mm
   - Diametro interno rivestimento: Øint = 38 mm
   - Peso per metro lineare rivestimento: M = 5,3 kg

(l'intercapedine tra Øint della scarpa e le aste sarà di 0,2÷0,3 mm; tra le aste e il rivestimento, sopra la scarpa, di 2 mm circa).

2) Punta conica collegata alla base delle aste interne:
   - Angolo apertura: $\alpha = 60°$
   - Diametro base: $\varnothing b = 50,8$ mm

3) Dispositivo di infissione con sollevamento e sganciamento automatico con le seguenti caratteristiche:
   - massa battente: M = 73 kg
   - altezza di caduta: h = 750 mm
   - testa di battuta: ≤ 55 kg

L'asta, alla cui estremità è collegata la punta conica, deve essere perfettamente liscia e calibrata negli ultimi 50 cm. 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:
   - Lunghezza aste: L = 1÷2 m
   - Peso per metro lineare aste: Mmax = 8,0 kg
   - Diametro esterno aste: $\varnothing est = 32 \pm 0,3$ mm

(l'intercapedine tra $\varnothing int$ della scarpa e le aste sarà di 0,2÷0,3 mm; tra le aste e il rivestimento, sopra la scarpa, di 2 mm circa).

2) Punta conica collegata alla base delle aste:
   - Angolo apertura: $\alpha = 90°$
   - Diametro base: $\varnothing b = 50,5 \pm 0,5$ mm

3) Dispositivo di infissione con sollevamento e sganciamento automatico con le seguenti caratteristiche:
   - massa battente : M = 63,5 ± 0,5 kg
   - altezza di caduta : h = 750 ± 0,02 mm
   - testa di battuta : ≤ 30 kg

Il rivestimento nella procedura ISSMFE non è previsto; il suo impiego, tuttavia, è consigliabile soprattutto per ridurre l'effetto dell'attrito laterale sulle aste. In ogni caso si deve sempre verificare 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 (Np) necessari, previo eventuale preforo di attraversamento di pavimentazioni o altri ostacoli all'infissione della punta stessa.

L'AGI prevede avanzamenti di 30 cm mentre ISSMFE prevede l'infissione per tratti consecutivi di 20 cm .

Con l'attrezzatura AGI dopo 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 30 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.

Con l'attrezzatura ISSMFE l'infissione della punta conica avverrà per tratti consecutivi di 20 cm, misurando il numero di colpi necessari.

La cadenza di avanzamento dovrà essere pari a 15-30 colpi/minuto. Tutte le interruzioni nella continuità di prova devono essere annotate nel rapporto di cantiere.

Le aste devono essere ruotate per un giro e mezzo ogni metro per mantenere il foro verticale e diritto nonché per ridurre l'attrito laterale sulle aste.

Quando la profondità di prova supera 10 m, la rotazione delle aste deve essere più frequente (ogni 20 cm).

Per eliminare il problema dell'attrito laterale lungo le aste è opportuno prevedere l'iniezione di fango bentonitico tra le aste e le pareti del foro oppure l'adozione di un rivestimento provvisorio, benché non espressamente previsti nella procedura ISSMFE.

C. Elaborazione

Il numero di colpi necessari all'avanzamento dovrà essere espresso anche come resistenza alla penetrazione dinamica q_d (MPa) che tiene conto delle caratteristiche dimensionali e di peso dell'attrezzatura impiegata.

L'espressione da utilizzare è la seguente:

$$q_d = \frac{M}{M + M'} \cdot \frac{M \cdot g \cdot H}{A \cdot e} \quad [MPa]$$

Con:

M = massa del maglio
M' = massa complessiva di testa di battuta, asta di guida del maglio, dispositivo di sgancio e colonna di aste
g = accelerazione di gravità
H = altezza di caduta del maglio
a = area della sezione trasversale della punta
e = penetrazione media per colpo (penetrazione di riferimento divisa per il numero di colpi)

Documenti da consegnare.

Al termine dell'indagine dovranno essere consegnati i seguenti elaborati:

a) Relazione conclusiva contenente la descrizione di tutte le operazioni eseguite e dei risultati ottenuti;
b) Planimetria, in scala non inferiore a 1:5000, recante l'ubicazione precisa di tutte le prove effettuate;
c) Elaborati grafici e tabellari riportanti, per ciascuna prova, i seguenti dati:

- caratteristiche generali dell'attrezzatura impiegata tipo di penetrometro, dimensioni della punta conica, diametro e peso delle aste e del rivestimento, peso della guida e della testa di battuta, massa del maglio e altezza di caduta;
- tabella dei dati rilevati per ciascuna verticale di prova della resistenza alla punta (N20 o N30) e della resistenza al rivestimento (Nr);
- grafico della resistenza alla punta Np ed al rivestimento Nr in funzione della profondità;
- grafico e tabella della resistenza alla penetrazione dinamica qd in funzione della profondità;
- note ed osservazioni relative all'esecuzione di ciascuna verticale di prova.

Riferimenti normativi:

- 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 (secondo la terminologia ISSFE, questa prova rientra nel tipo super-pesante: DPSH, in quanto con maglio maggiore di 60 kg).
- UNI ENV 1997-1 (2005) – Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali
- UNI ENV 1997-2 (2007) – Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica - Parte 2: Indagini e prove nel sottosuolo
- UNI EN 1997-2 (2007) – Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica – Parte 3: Progettazione assistita con prove in sito".
- UNI EN ISO 22476-2 (2012) -Indagini e prove geotecniche - Prove in sito - Parte 2:Prova di penetrazione dinamica

3.8.2.6 Prova penetrometrica dinamica continua eseguita con massa battente medio-leggera 10÷30 kg, (DPM).

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.

A. Attrezzatura

L'attrezzatura da impiegare dovrà rispondere agli standard ISSMFE nonché alle caratteristiche sotto riportate per il penetrometro medio-leggero di tipo "Emilia".

Secondo ISSMFE il penetrometro **medio** utilizza una massa battente da 30 kg e l'attrezzatura sarà la seguente:

1) Batteria di aste:
   - Lunghezza aste: L = 1÷2 m
   - Peso per metro lineare aste: M = max 6 kg
   - Diametro esterno aste: Øest = 32 ±0,3 mm
2) Punta conica collegata alla base delle aste:
   - Angolo apertura: α = 90°
   - Diametro base: Øb = 35,7± 0,3 mm
3) Dispositivo di infissione con sollevamento e sganciamento automatico con le seguenti caratteristiche:
   - massa battente: M = 30±0,3 kg
   - altezza di caduta: h = 500 mm
   - peso testa di battuta: T = max. 18 kg

Secondo ISSMFE il penetrometro **leggero** utilizza una massa battente da 10 kg e l'attrezzatura sarà la seguente::

1) Batteria di aste:
   - Lunghezza aste: L = 1 m
   - Peso per metro lineare aste: M = max 3 kg
   - Diametro esterno aste: Øest = 22 ± 0,2 mm
2) Punta conica collegata alla base delle aste:
   - Angolo apertura: $\alpha = 90°$
   - Diametro base: Øb = 35,7± 0,3 mm
3) Dispositivo di infissione con sollevamento e sganciamento automatico con le seguenti caratteristiche:
   - massa battente: M = 10± 0,3 kg
   - altezza di caduta: h = 500 mm
   - peso testa di battuta: T = max. 6 kg

Il penetrometro **medio-leggero** tipo "Emilia" utilizza una massa battente da 30 kg e l'attrezzatura sarà la seguente:

1) Batteria di aste:
   - Lunghezza aste: L = 1 m
   - Peso per metro lineare aste: M = 3,6 o 2,5 kg
   - Diametro esterno aste: Øest = 28 o 20 mm

2) Punta conica collegata alla base delle aste:
   - Angolo apertura: $\alpha = 90°$ o 60°
   - Diametro base: Øb = 35,7 mm
3) Dispositivo di infissione con sollevamento e sganciamento automatico con le seguenti caratteristiche:
   - massa battente: M = 30 kg
   - altezza di caduta: h = 200 mm
   - peso testa di battuta: T = 26 o 18 kg

Per evitare l'influenza dell'attrito laterale sulla resistenza alla penetrazione, sono da preferire le attrezzature dotate di rivestimento o di aste cave che consentano l'iniezione di fango bentonitico nell'intercapedine.

B. Modalità esecutive

La prova consisterà nella infissione della punta conica (a perdere) nel terreno, per tratti consecutivi di 10 cm misurando il numero di colpi (Np) necessari, previo eventuale preforo per l'attraversamento di pavimentazioni o altri ostacoli all'infissione della punta statica.

La prova verrà sospesa per raggiunto rifiuto quando Np supera il valore di 50 colpi per avanzamento.

Di norma le prove verranno iniziate alla quota del piano campagna.

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. La cadenza di avanzamento dovrà essere pari a 15-30 colpi/minuto. Tutte le interruzioni nella continuità di prova devono essere annotate nel rapporto di cantiere.

Le aste devono essere ruotate per un giro e mezzo ogni metro per mantenere il foro verticale e diritto nonché per ridurre l'attrito laterale sulle aste.

C. Elaborazione

Il numero di colpi necessari all'avanzamento dovrà essere espresso anche come resistenza alla penetrazione dinamica q_d (MPa) che tiene conto delle caratteristiche dimensionali e di peso dell'attrezzatura impiegata.

L'espressione da utilizzare è la seguente:

$$q_d = \frac{M}{M + M'} \cdot \frac{M \cdot g \cdot H}{A \cdot e} \quad [MPa]$$

Con:
M = massa del maglio
M' = massa complessiva di testa di battuta, asta di guida del maglio, dispositivo di sgancio e colonna di aste
g = accelerazione di gravità
H = altezza di caduta del maglio
a = area della sezione trasversale della punta
e = penetrazione media per colpo (penetrazione di riferimento divisa per il numero di colpi)

Documenti da consegnare.

Al termine dell'indagine dovranno essere consegnati i seguenti elaborati:

a) Relazione conclusiva contenente la descrizione di tutte le operazioni eseguite e dei risultati ottenuti;
b) Planimetria, in scala non inferiore a 1:5000, recante l'ubicazione precisa di tutte le prove effettuate;
c) Elaborati grafici e tabellari riportanti, per ciascuna prova, i seguenti dati:
   - caratteristiche generali dell'attrezzatura impiegata tipo di penetrometro, dimensioni della punta conica, diametro e peso delle aste (e del rivestimento), peso della guida e della testa di battuta, massa del maglio e altezza di caduta;
   - tabulato dei dati rilevati per ciascuna verticale di prova, della resistenza alla punta (N10) e della resistenza al rivestimento (Nr);
   - grafico della resistenza alla punta Np (ed al rivestimento Nr) in funzione della profondità;
   - grafico e tabella della resistenza alla penetrazione dinamica qd in funzione della profondità;
   - note ed osservazioni relative all'esecuzione di ciascuna verticale di prova.

Riferimenti normativi:

- ISSMFE Technical Committee on Penetration Testing (1988). Dynamic Probing (DP): International Reference Test Procedure.
- UNI ENV 1997-1 (2005) – Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali
- UNI ENV 1997-2 (2007) – Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica - Parte 2: Indagini e prove nel sottosuolo
- UNI EN 1997-2 (2007) – Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica – Parte 3: Progettazione assistita con prove in sito".
- UNI EN ISO 22476-2 (2012) -Indagini e prove geotecniche - Prove in sito - Parte 2:Prova di penetrazione dinamica

3.8.2.7 Prova dilatometrica eseguita con dilatometro piatto tipo Marchetti (DMT).

La prova consiste nell'infiggere verticalmente nel terreno una lama di acciaio, mediante spinta statica, espandendo con del gas in pressione una membrana circolare situata su di un lato della lama e misurando le pressioni corrispondenti a due livelli di deformazione predeterminati della membrana.

A. Attrezzatura

A.1 Dispositivo di spinta

Può essere costituito da un penetrometro statico da 10÷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 Marchetti, senza modifiche, e dovrà comprendere:

- dilatometro tipo Marchetti (95x200x14 mm), con membrana metallica laterale (spessore 0,2 mm), espandibile per 1 mm al centro;
- centralina di misura tipo Marchetti;
- siringa di calibrazione della membrana;
- cavo elettropneumatico di collegamento del dilatometro con la centralina;
- bombola di gas azoto, provvista di apposite valvole, regolatore e cavi di collegamento alla centralina;
- cavo per la messa a terra delle aste di spinta e della centralina.

B. Modalità esecutive

B.1 Accertamenti preliminari

Prima dell'esecuzione della prova si dovrà verificare che la lama di prova sia diritta, 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 dall'asse entro 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.

B.3 Esecuzione della prova

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 manometrica in corrispondenza della quale si disattiva il segnale audiovisivo corrisponde al valore "A";
- la pressione necessaria per espandere di 1 mm il centro della membrana (lettura B), da rilevarsi entro 30 secondi dalla lettura A; la pressione manometrica in corrispondenza della quale il segnale audiovisivo si riattiva corrisponde al valore "B".

Terminata la lettura si chiude la valvola di mandata e si apre quella di sfiato, scaricando il circuito e passando alla successiva profondità di misura.

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, ecc...) 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.

Documenti da consegnare.

Al completamento delle indagini dovranno essere consegnati i seguenti elaborati:

a) Relazione conclusiva contenente la descrizione di tutte le operazioni eseguite e dei risultati ottenuti;
b) Planimetria, in scala opportuna, della quale risulti l'ubicazione esatta delle prove dilatometriche eseguite;
c) Elaborati grafici e tabellari riportanti, per ciascuna prova, i seguenti dati:
   - informazioni generali (località, Progr. Km, data di esecuzione, nominativo dell'operatore, ecc.);
   - numero/sigla della prova;
   - caratteristiche dell'attrezzatura;
   - quota assoluta del punto di prova;
   - profondità della falda;
   - certificato di taratura della centralina di misura non anteriore di più di 6 mesi alla data della prova;
   - tabella con le letture di cantiere (lettura A, B);
   - elaborazione delle letture in accordo alle correlazioni fornite dal costruttore in termini di:
     - indice di materiale ID, correlato alla granulometria del materiale (sabbia, limo, argilla);
     - modulo edometrico Mo = 1/mv;
     - modulo dilatometrico Ed;
     - coesione non drenata cu (nei soli terreni coesivi);
     - angolo di attrito (solo nei terreni incoerenti);
     - indice di spinta orizzontale kd;
     - coefficienti di spinta orizzontale ko;
     - grado di sovraconsolidazione.
   - note ed osservazioni relative all'esecuzione di ciascuna verticale di prova.

Riferimenti normativi:

- ASTM D6635-01. Standard Test Method for Performing the Flat Plate Dilatometer;
- UNI ENV 1997-1 (2005) – Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali;
- UNI ENV 1997-2 (2007) – Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica - Parte 2: Indagini e prove nel sottosuolo;
- UNI EN 1997-2 (2007) – Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica – Parte 3: Progettazione assistita con prove in sito";
- UNI-CEN-ISO/TS 22476-11 (2005). Indagini e prove geotecniche - Prove in sito - Parte 11: Prova con dilatometro piatto.

3.8.3 ALTRE PROVE IN SITO

3.8.3.1 Prova di carico su piastra da eseguirsi su terreno naturale, su riempimenti compattati o su rilevati, per la determinazione del modulo di deformazione dell'ammasso terroso.

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.

A. Attrezzatura

L'attrezzatura da impiegarsi è la sottoelencata:

- piastra circolare in acciaio, rigida, caratterizzata da:
  - diametro: $\varnothing = 300 \pm 1$ mm
  - spessore: $Sp \geq 20$ 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;
- braccio/i snodabile/i porta comparatore/i con dispositivo a vite micrometrica per l'azzeramento del comparatore;
- trave rigida di sostegno dei bracci porta-comparatori, 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.

La orizzontalità della piastra, una volta posta sul piano di prova, sarà verificata con livella a bolla.

Se la prova deve essere eseguita su una superficie già ricoperta da altro strato, sarà necessario praticare uno scavo le cui pareti siano ad una distanza minima di 30 cm dal bordo della piastra.

In ogni caso 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.

B2. Assemblaggio

Per l'esecuzione della prova è necessario utilizzare un contrasto fisso che fornisca un carico pari ad almeno il doppio di quello massimo da esercitare sulla piastra.

L'attrezzatura può essere montata secondo due diversi schemi in funzione della disposizione dei singoli elementi al di sopra della scatola cilindrica posta subito a contatto della piastra:

1) piastra → scatola cilindrica → martinetto → dinamometro→ asta di prolunga;
2) piastra → scatola cilindrica → 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.

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.

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.

2) Con tre comparatori

Rispetto alla procedura precedente la scatola cilindrica, se utilizzata, ha funzione unicamente di irrigidimento della piastra.

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^2 comprendente il peso dell'apparecchiatura gravante sulla superficie di prova.

Esauriti i cedimenti, si azzera/no il/i comparatore/i e si porta il carico a 0,05 N/mm^2 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.

Con il primo ciclo della prova di carico si determina il modulo M_d (indicativo della portanza) mentre con il secondo ciclo si determina il modulo M'_d necessario per definire il grado di costipamento dello strato in esame.

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^2 fino ad una pressione massima di 0,2 N/mm^2;
- per strati di fondazione e per strati di base: incrementi di carico di 0,1 N/mm^2 fino a pressioni massime rispettivamente di 0,35 e 0,45 N/mm^2.

Raggiunta la pressione massima si esegue lo scarico:

- completo se occorre determinare solo il modulo Md;
- fino alla pressione di 0,05 N/mm² 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 N/mm² fino alla pressione massima di 0,15 N/mm²;
- per strati di fondazione e per strati di base: incrementi di carico di 0,1 N/mm2 fino alle pressioni massime rispettivamente di 0,25 e 0,35 N/mm².

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 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 Md 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 N/mm²;
- per strati di fondazione: tra 0,15 e 0,25 N/mm²;
- per strati di base: tra 0,25 e 0,35 N/mm².

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 Md 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 N/mm²;
- per gli strati del corpo dei rilevati: tra 0,15 e 0,25 N/mm²;
- per lo strato fortemente compattato: tra 0,25 e 0,35 N/mm².

Il modulo di deformazione M_d (M'_d) (N/mm^2) deve essere calcolato nell'intervallo di pressione da considerare in accordo alla formula:

$$M_d(M'_d) = \frac{\Delta p}{\Delta s} \cdot D$$

Dove:

Δp = incremento di carico unitario (N/mm²);

Δs = cedimento corrispondente all'incremento di carico (mm);

D = diametro della piastra (mm).

A richiesta delle Ferrovie la prova potrà essere eseguita con le stesse modalità sopra descritte con una piastra con diametro da 60 cm.

Documenti da consegnare.

La documentazione da fornire comprenderà, per ciascuna prova:

- informazioni generali (cantiere, n° prova, profondità, diametro piastra, data);
- planimetria, in scala idonea, con ubicazione della prova;
- tabelle con letture di cantiere del/i comparatore/i, per ciascun gradino di carico;
- diagramma carichi-cedimenti;
- calcolo dei moduli di deformazione Md e M'd
- certificato di taratura del dinamometro di misura non anteriore di 3 mesi la data di inizio prove.

Riferimenti normativi:

- CNR-BU n. 146-1992. Determinazione dei moduli di deformazione Md e M'd mediante prova di carico a doppio ciclo con piastra circolare.

3.8.3.2 Prova di carico su piastra da eseguirsi su terreno naturale, su riempimenti compattati o su rilevati, per la determinazione del modulo di reazione k.

La prova consiste nel sovraccaricare con incrementi successivi e regolari una serie di quattro piastre rigide, circolari, di diametro variabile da 300 a 760 mm, poggiate sulla superficie del terreno misurando il cedimento corrispondente ad ogni gradino di carico.

A. Attrezzatura

Per l'esecuzione della prova è necessaria la seguente attrezzatura:

- Serie di piastre circolari con le seguenti caratteristiche:
  - 1 piastra da 760 ± 1 mm di diametro, spessore ≥ 25 mm;
  - 1 piastra da 600 ± 1 mm di diametro, spessore ≥ 25 mm;
  - 1 piastra da 450 ± 1 mm di diametro, spessore ≥ 20 mm;
  - 1 piastra da 300 ± 1 mm di diametro, spessore ≥ 20 mm;
- una testa a snodo dotata di una cerniera sferica per il centramento del carico, bloccabile durante le operazioni d'installazione dell'attrezzatura;
- un martinetto meccanico o idraulico della portata di circa 40 kN;
- un dinamometro meccanico o idraulico della portata di circa 40 kN con una sensibilità ≥ 50 daN;
- una prolunga costituita da più aste cilindriche avvitate tra loro in modo da consentire diverse lunghezze;
- tre comparatori centesimali con una corsa di 10 mm e sensibilità di 0,01 mm;
- tre bracci metallici snodabili porta-comparatori, dotati di un dispositivo a vite micrometrica per l'azzeramento dei comparatori;
- una trave di sostegno dei bracci porta-comparatori, sufficientemente rigida, della lunghezza di circa 5 m, munita di due supporti per l'appoggio sul terreno;
- un contasecondi , un filo a piombo, una livella a bolla e un termometro con sensibilità di 1°C (scala compresa tra –10°C e + 60°C circa).

B. Operazioni preliminari

B1. Preparazione del terreno

Le piastre saranno poggiate 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 (≤ 6 mm) 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 a mano avendo cura di non calpestare l'area in cui deve essere eseguita la prova.

La orizzontalità delle piastre, una volta posate sul piano di prova, dovrà essere verificata con livella a bolla.

B2. Assemblaggio

L'attrezzatura di prova può essere montata secondo due schemi a seconda della convenienza di fissare preliminarmente il martinetto, il dinamometro e la prolunga alla struttura di contrasto.

Nel primo schema di montaggio, a partire dall'alto, si ha la struttura di contrasto, la testa a snodo, il martinetto, il dinamometro e l'asta di prolunga a diretto contatto con le piastre.

Nel secondo schema di montaggio, a partire dall'alto, si ha la struttura di contrasto, la testa a snodo, l'asta di prolunga, il dinamometro ed il martinetto a diretto contatto con le piastre.

La piastra da 760 mm dovrà essere posizionata curando che il contatto con il terreno sia il più possibile completo allo scopo di realizzare la migliore uniformità di carico; successivamente si sovrappongono le altre tre piastre, verificando la centratura delle stesse rispetto alla prima.

La testa a snodo dovrà essere fissata alla struttura di contrasto bloccando la cerniera sferica.

Una volta montata l'apparecchiatura di prova, si provvede alla sistemazione dei bracci porta-comparatori curando che le punte dei tre comparatori siano a contatto della piastra da 760 mm su direttrici radiali disposte a 120°.

I bracci dei comparatori devono essere fissati alla trave i cui appoggi devono distare dal centro della piastra e dai supporti della struttura di contrasto di almeno 2,50 m.

Completata l'installazione si dovrà verificare la verticalità della struttura (martinetto, dinamometro, asta di prolunga e testa a snodo).

Per l'esecuzione della prova è necessaria una struttura di contrasto fissa che può essere costituita dal telaio di un autocarro adeguatamente zavorrato.

C. Modalità esecutive

Per iniziare la prova si dovrà sbloccare la cerniera sferica e seguire la procedura di seguito descritta:

- applicare un carico di assestamento di 0,1 daN/cm² (10 kPa);
- aspettare che le deformazioni siano esaurite ed eseguire le letture ai tre comparatori (valore medio Lo);
- applicare un carico di 0,8 daN/cm² (80 kPa);
- aspettare che le deformazioni siano esaurite ed eseguire le letture ai tre comparatori (valore medio L);
- scaricare, rimuovere l'apparecchiatura e prelevare un campione di terreno al di sotto della piastra per la determinazione dell'umidità.

Il modulo di reazione k si ottiene dalla seguente correlazione:

$$k = \frac{0,7}{L - Lo}$$

dove la differenza "L-Lo" è espressa in centimetri.

Le deformazioni si intendono esaurite quando il loro incremento è inferiore a 0,02 mm/minuto.

Se è previsto che in condizioni di esercizio il terreno sia saturo, la prova dovrà essere eseguita saturando preliminarmente il terreno stesso.

Documenti da consegnare

La documentazione da fornire comprenderà, per ciascuna prova:
- informazioni generali (cantiere, n° prova, data);
- planimetria con ubicazione della prova;
- caratteristiche delle attrezzature impiegate e schema di installazione adottato;
- tabella con le letture di cantiere dei comparatori, per ciascun gradino di carico;
- calcolo del modulo di reazione;
- certificato di taratura del dinamometro di misura non anteriore di 3 mesi la data di inizio prove.

Riferimenti normativi:

- CNR-BU n. 92-1983. Determinazione del modulo di reazione "k" dei sottofondi e delle fondazioni in misto granulare.

3.8.3.3 Prova di densità in sito con il metodo della sabbia calibrata, eseguita anche in pozzetto, compresa la fase preliminare di calibrazione della sabbia da eseguirsi in laboratorio.

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.

A. Attrezzatura

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.

B. Operazioni preliminari

Prima dell'esecuzione della prova dovrà essere verificata la taratura dell'apparecchio eseguendo:
- la determinazione del peso di sabbia (P) che riempie l'imbuto ed il foro della piastra di base;
- la determinazione del peso di volume della sabbia impiegata.

Per la determinazione del peso di sabbia occorre:
a) riempire di sabbia il recipiente e determinare il peso del recipiente pieno (P1);
b) appoggiare la piastra di base su una superficie orizzontale;
c) sistemare il volumometro rovesciato con il rubinetto chiuso sulla piastra di base;

d) aprire il rubinetto e lasciare uscire la sabbia evitando scuotimenti; quando la sabbia ha cessato di uscire chiudere il rubinetto, rimuovere il recipiente del volumometro e pesarlo con la sabbia rimasta (P2);
e) il peso di sabbia (P) è dato dalla differenza tra P1 e P2.

Per la determinazione del peso di volume della sabbia impiegata (γ) si deve:
a) riempire di sabbia il recipiente del volumometro e determinare il peso del recipiente pieno (P3);
b) disporre lo stampo cilindrico di volume noto, vuoto, su una superficie piana orizzontale e sovrapporre ad esso la piastra di base;
c) porre il volumometro rovesciato e con il rubinetto chiuso sulla piastra di base;
d) aprire il rubinetto e lasciare uscire la sabbia evitando scuotimenti; quando la sabbia ha cessato di uscire si dovrà chiudere il rubinetto e rimuovere il volumometro;
e) pesare il recipiente del volumometro con la sabbia rimasta (P4);
f) il peso di sabbia che ha riempito l'imbuto, il foro della piastra di base e lo stampo è dato dalla differenza tra il valore P3 e P4;
g) il peso della sabbia contenuta nello stampo è dato dalla differenza tra il valore (P3-P4) e P1;
h) il peso di volume γ della sabbia è dato dal rapporto tra il peso della sabbia che riempie lo stampo ed il volume dello stampo.

C. Modalità esecutive

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.

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 (P_f);
7) pesatura della terra estratta dal foro scavato (P_u);
8) prelievo di un campione nel materiale scavato, per la determinazione dell'umidità

Il volume in sito del terreno estratto si ottiene dalla seguente espressione:

$$V = \frac{P_f - P}{\gamma}$$

dove:
Pf = peso in kg della sabbia uscita dal recipiente (punto C.6);
P = peso in kg della sabbia necessaria per riempire l'imbuto;
γ = peso di volume della sabbia.

La densità del terreno in sito all'umidità naturale è data da:

$$\gamma = \frac{Pu}{V}(kg/dm^3)$$

dove:
P_u = peso della terra, alla umidità naturale, estratta dalla buca (kg)
V = volume della buca (dm^3)

Documenti da consegnare

La documentazione da fornire comprenderà, per ciascuna prova:
1) informazioni generali (cantiere, n° prova, ubicazione planimetrica, data);
2) descrizione della strumentazione impiegata e delle tarature eseguite;
3) risultati delle prove eseguite.

Riferimenti normativi:

- CNR-BU n. 22-1972. 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.

3.8.3.4 Prova di densità in sito con il metodo del volumometro a membrana, eseguita anche in pozzetto.

La prova serve a determinare la densità in sito di un volume di terreno attraverso il rapporto tra il suo peso ed il suo volume misurato facendo aderire alle pareti del cavo una sottile membrana elastica

A. Attrezzatura

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. Operazioni preliminari

Preliminarmente all'esecuzione della prova si dovrà effettuare la taratura dell'indicatore di volume attraverso un controllo con stampi di volume noto e di dimensione all'incirca uguale a quello della buca di prova.

La procedura da seguire è la seguente:

- appoggiare la piastra di base su una superficie piana orizzontale;
- disporre il volumometro sulla piastra di base, applicare una leggera pressione all'interno dell'apparecchio ed effettuare la lettura iniziale del livello dell'acqua sull'indicatore di volume (V1);
- ripetere la misura dopo avere sovrapposto la piastra di base con il sovrastante volumometro ad uno degli stampi effettuando così la lettura finale del livello dell'acqua sull'indicatore di volume (V2);
- la differenza tra le letture V2 e V1 dovrà corrispondere al volume dello stampo tarato;
- se i due valori non corrispondono, si dovrà correggere la lettura dell'indicatore di volume.

C. Modalità esecutive

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.

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 (V1);
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 senza variare l'addensamento del terreno attorno alla buca; 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 V2;
5) la differenza tra la lettura V1 (punto 2) e la lettura V2 fornisce il volume della buca (V);
6) pesatura della terra estratta dal foro scavato (P);
7) prelievo di un campione nel materiale scavato, per la determinazione dell'umidità.

La densità del terreno in sito all'umidità naturale è data da:

$$\gamma = \frac{P}{V}(kg / dm^3)$$

dove:
P = peso della terra, alla umidità naturale, estratta dalla buca (kg); V = volume della buca (dm^3).

Documenti da consegnare

La documentazione da fornire comprenderà, per ciascuna prova:

- informazioni generali (cantiere, n° prova, ubicazione planimetrica, data);
- descrizione della strumentazione impiegata e delle tarature eseguite;
- risultati delle prove eseguite.

Riferimenti normativi:

- CNR-BU n. 22-1972. Peso specifico apparente di una terra in sito.

3.8.4 PROVE IN FORO DI SONDAGGIO

3.8.4.1 Prova penetrometrica dinamica tipo SPT (Standard Penetration Test), da eseguire all'interno dei fori dei sondaggi geognostici.

Questa prova consente di determinare la resistenza di un terreno alla penetrazione dinamica di un campionatore standard infisso a partire dal fondo di un foro di sondaggio.

Di seguito si riportano le caratteristiche delle attrezzature e le modalità esecutive della prova che dovranno essere rispettate.

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 ± 0,5 kg;
- un dispositivo di guida e di sganciamento automatico del maglio, che assicuri una corsa a caduta libera di 0,76 m (± 0,03 m).

Non è ammesso il metodo del cabestano manovrato con la fune.

A2. Aste

Secondo AGI le aste di infissione devono avere diametro esterno ≥ 50 mm e peso pari a 7,00 ± 0,5 kg/m).

Le Ferrovie si riservano la facoltà di far adottare diametro e peso delle aste diverse da quelle sopra indicate che comunque, in accordo a quanto consigliato nella procedura ISSMFE, non dovranno superare tassativamente il peso di 10 kg/m.

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.

I distanziatori dovranno essere impiegati anche per prove eseguite a profondità superiore di 15 m.

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:Øest = 51 ± 1 mm
- Diametro interno:Øint = 35 ± 1 mm
- Lunghezza minima escluso tagliente principale: Lmin ≥ 457 mm
- Lunghezza scarpa tagliente terminale con rastremazione negli ultimi 19 mm: I = 76 ± 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.

La scarpa del campionatore è costituita da acciaio indurito e deve essere riparata o sostituita quando è sbeccata o distorta.

In presenza di strati di terreno con ghiaia la scarpa del campionatore Raymond potrà essere sostituita da una punta conica con diametro esterno pari a 51 mm e angolo di 60°.

L'impiego della punta conica dovrà essere preventivamente autorizzata dalle Ferrovie.

B. Modalità esecutive

Le prove devono, di norma, essere effettuate entro fori di diametro compreso tra 60 e 200 mm, alle profondità stabilite dalle Ferrovie.

Le procedure da rispettare sono le seguenti:

a) estrazione lenta degli utensili di perforazione per evitare la decompressione del terreno interessato dalla prova;
b) verificare che il fondo foro sia pulito e controllare con scandaglio la quota del fondo foro confrontandola con quella raggiunta con la manovra di perforazione o di pulizia precedentemente fatta. Se la quota misurata è più alta, per effetto di rifluimenti del fondo o per decantazione di detriti in sospensione nel fluido e se tale differenza supera 7 cm la prova non potrà essere eseguita e si dovrà procedere ad una ulteriore manovra di pulizia;
c) il fondo foro deve essere sempre al di sotto della scarpa dei tubi di rivestimento;
d) se la prova da eseguire è al di sotto del livello piezometrico, il livello del fluido nel foro dovrà essere mantenuto sempre al di sopra del livello idrostatico per assicurare l'equilibrio idraulico alla profondità della prova;
e) posizionamento a fondo foro della batteria di prova, montaggio del dispositivo di prova e annotare la penetrazione iniziale dovuta al peso dell'intero sistema;
f) segnare su una asta i tre tratti di 15 cm.

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 (rifiuto), 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 15 cm di infissione preliminare 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.

Documenti da consegnare.

Al termine dell'indagine dovrà essere consegnata la seguente documentazione:

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 Nspt in funzione della profondità;
   - eventuali annotazioni dell'operatore e data di esecuzione.

Riferimenti normativi:

- 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;
- UNI-EN-ISO 22476-3 (2012). Indagini e prove geotecniche - Prove in sito -Parte 3: Prova penetrometrica dinamica tipo SPT (Standard Penetration Test);
- UNI ENV 1997-1 (2005) – Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali;
- UNI ENV 1997-2 (2007) – Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica - Parte 2: Indagini e prove nel sottosuolo;
- UNI EN 1997-2 (2007) – Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica – Parte 3: Progettazione assistita con prove in sito"

3.8.4.2 Prova pressiometrica da eseguire all'interno dei fori dei sondaggi geognostici con pressiometro tipo Menard.

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.

A. Attrezzatura

A1. Sonda pressiometrica

La sonda cilindrica ad espansione idraulica è costituita da una cella centrale di misura, espandibile radialmente, posta tra due celle di guardia che devono impedire, durante la prova, deformazioni della cella di misura che non siano quelle radiali.

La cella centrale di misura, piena d'acqua, è collegata ad un serbatoio in superficie che funge da separatore aria-acqua.

La pressione è fornita da gas neutro (aria o azoto) e la variazione di raggio del foro, a seguito dell'espansione della membrana, viene ottenuta indirettamente misurando la variazione di volume dell'acqua nella cella centrale.

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 sovrapposte, qualora reso necessario della tipologia del terreno.

Le celle di guardia, anch'esse dotate di membrana elastica, vengono espanse mediante pressione di gas o di acqua attraverso un circuito indipendente da quello della cella centrale di misura.

Dovranno essere utilizzate sonde pressiometriche di norma di diametro pari a 44, 58 o 70 mm con un rapporto lunghezza (comprese celle)/diametro pari ad almeno 6 (sei).

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; le celle di confinamento mediante pressione idraulica o di gas.

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 di 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^3.

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^3 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 pressiometrica 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 pressiometrica sarà posizionata alla quota indicata dal programma. In accordo alle indicazioni del programma, la prova pressiometrica 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:

$$Pg = Pr + Pw - Pd$$

dove:
Pg = pressione celle di guardia
Pr = pressione letta al manometro
Pw = pressione idrostatica agente tra unità di misura e sonda pressiometrica a quota prova
Pd = differenza di pressione tra cella di misura e celle di guardia.

C1. Preparazione del foro

La prova pressiometrica dovrà essere eseguita esclusivamente in avanzamento.

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 pressiometrica, 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 pressiometrica.

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. (radianti per minuto), pressione di fluido contenuta e tendenzialmente inferiore a 15 l/min. La tecnica di perforazione dovrà essere comunicata alle Ferrovie.

L'intervallo tra le prove, in uno stesso foro, non deve essere inferiore ad 1 metro.

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.

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 ¼ 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 alle Ferrovie; 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 ciclo 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 ricarico.

I cicli di carico/scarico/ricarico dovranno essere approvati dalle Ferrovie.

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÷0,1 volte il volume iniziale V, fino ai limiti naturali dell'apparato di prova.

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.

Documenti da consegnare

Per ogni prova dovranno essere consegnati i seguenti elaborati:

a) Certificato di prova recante indicazione su:
   - cantiere e numero di sondaggio;
   - profondità di prova;
   - descrizione delle modalità di perforazione e del diametro relativo;
   - descrizione stratigrafica del terreno nell'intervallo di prova;
   - livello piezometrico;
   - curve di taratura per le perdite di pressione e di volume;
   - tabella delle letture a 30" e a 60";
   - tabella con le letture volumetriche a 30" e a 60" dall'applicazione dell'incremento di pressione;
   - curva di cantiere con i valori non corretti di pressione (kPa) e volume a 60" (cm3);
   - curva pressiometrica (valori corretti);
   - curva di creep;
   - determinazione di v0 (volume iniziale) e p0 (pressione iniziale);
   - determinazione di vF (volume di scorrimento o fluage) e pF (pressione di scorrimento o fluage);
   - calcolo del modulo pressiometrico con indicazione degli intervalli di pressione e volume utilizzati (nel caso di prova con ciclo di scarico-ricarico dovrà essere calcolato anche il modulo nell'asola disegnata dal ciclo eseguito);
   - calcolo della pressione limite pL, con indicazione del metodo utilizzato e relativo grafico;
   - note su qualsiasi variazione rispetto alle modalità di prova;
   - calcolo della resistenza al taglio (angolo di attrito, coesione);
   - descrizione del tempo atmosferico e della temperatura;
   - copia dei certificati di taratura dei manometri, non anteriori di 6 mesi alla data di esecuzione della prova.

Riferimenti normativi:

- UNI-EN-ISO 22476-4 (2013). Indagini e prove geotecniche - Prove in sito - Parte 4: Prova con pressiometro Menard;
- UNI ENV 1997-1 (2005) – Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali;
- UNI ENV 1997-2 (2007) – Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica - Parte 2: Indagini e prove nel sottosuolo;
- UNI EN 1997-2 (2007) – Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica – Parte 3: Progettazione assistita con prove in sito"

3.8.4.3 Prova scissometrica da eseguire all'interno dei fori dei sondaggi geognostici.

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.

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/ lato uguale a 2. Il lato sarà compreso tra 45 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 devono presentare elevate caratteristiche di rigidezza a torsione e a 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 < 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 reggispinta e l'intercapedine tra paletta e relativa "protezione" siano pieni di grasso.

Prima di eseguire la prova deve essere consegnato alle Ferrovie 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.

Documenti da consegnare.

Per ogni prova deve essere fornito la seguente documentazione finale:

- cantiere e numero di sondaggio ed ubicazione planimetrica;
- profondità della prova dalla bocca foro;
- diametro e profondità raggiunta dal rivestimento;
- tipo di attrezzatura usata e certificato di taratura del dispositivo di torsione non anteriore di 6 mesi dalla data di esecuzione della prova;
- dimensioni delle palette;
- letture allo strumento di torsione e/o grafici sforzo/deformazione;
- valori della resistenza massima e residua determinata dopo rimaneggiamento del terreno;
- descrizione geotecnica, previo carotaggio di taratura, del tratto di terreno provato;
- osservazioni e note.

Riferimenti normativi:

- Associazione Geotecnica Italiana (1977). Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche;
- UNI ENV 1997-1 (2005) – Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali;
- UNI ENV 1997-2 (2007) – Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica - Parte 2: Indagini e prove nel sottosuolo;
- UNI EN 1997-2 (2007) – Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica – Parte 3: Progettazione assistita con prove in sito".

3.8.4.4 Prova di fratturazione idraulica, da eseguire all'interno di fori di sondaggi geognostici, per la determinazione in sito dello stato di sollecitazione di un ammasso roccioso.

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.

A. Attrezzatura

L'attrezzatura deve essere costituita almeno dai seguenti componenti:

- un doppio packer gonfiabile ad alta pressione (sonda di fratturazione); la distanza tra i due packer deve essere pari a 6 volte il diametro del foro; i due otturatori devono essere collegati sia meccanicamente che idraulicamente;
- un packer per rilievo di impronta munito di bussola elettronica e rivestito di un apposito strato di gomma sostituibile (packer ad impressione); in alternativa può essere impiegata una telecamera da foro che rilevi l'immagine della frattura;
- una unità di comando per la pressurizzazione degli otturatori e della sezione di prova;
- pompa volumetrica (0-70 MPa; 0-25 lt/min) e tubi flessibili ad alta pressione;
- sistema per la misura della portata;
- un sistema di acquisizione analogico/digitale dei dati pressione-tempo e portata-tempo;
- sistema per il posizionamento dell'attrezzatura nella verticale di prova (aste di perforazione, aste di guida o cavo d'acciaio).

La pressione può essere misurata sia con trasduttori di fondo foro situati nella sonda di fratturazione sia con trasduttori posti in superficie all'uscita della pompa.

B. Modalità esecutive

Il foro di sondaggio dovrà essere perforato in presenza di roccia preferibilmente con l'uso di corona diamantata eseguita in modo da garantire che la parete del foro stesso sia il più possibile liscia e di forma uniformemente circolare. La sezione di prova dovrà essere costituita da roccia sana non fratturata e dovrà essere scelta dopo accurata osservazione delle carote estratte oppure dopo aver ispezionato l'interno del foro con una telecamera. Le fasi esecutiva della prova dovranno rispettare il seguente schema:

a) introdurre il doppio pacher nel foro e posizionarlo alla profondità di prova;

b) gonfiare il doppio packer, pompando acqua attraverso la pompa ad alta pressione, fino a farlo aderire alla parete del foro (normalmente è sufficiente una pressione dei packer di 3 MPa);

c) pompare acqua nella sezione di prova ad una portata costante, in funzione della permeabilità della roccia (a permeabilità elevata, portata elevata e viceversa), in modo da raggiungere la fratturazione idraulica in un minuto a partire dall'inizio dell'incremento di pressione. Nella fase di pressurizzazione della sezione di prova la pressione nei due packer dovrà essere più elevata di circa 2 MPa rispetto al tratto di prova in modo da evitare eventuali perdite. L'innesco di una frattura idraulica si manifesterà 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. La pressione corrispondente all'innesco della fratturazione sarà definita come pressione critica o di rottura;

d) a seguito dell'interruzione del pompaggio dell'acqua nel tratto di prova si registrerà un abbassamento della pressione fino ad una valore stabile corrispondente alla pressione di chiusura (shut-in pressure) della frattura;
e) ripetere il procedimento di cui ai punti b), c) e d), usando la stessa portata, altre due volte, registrando i corrispondenti valori di pressione di riapertura (o pressione di rottura secondaria) e di chiusura della frattura.

Durante l'intera prova dovranno essere registrati in continuo i dati pressione-tempo e portata-tempo da riportare su un doppio grafico.

Alla fine della prova il doppio otturatore dovrà essere sgonfiato riportandolo al diametro originale. L'otturatore potrà quindi essere riportato in superficie oppure potrà essere posizionato in corrispondenza di una nuova sezione di prova.

Per determinare l'orientamento della fratturazione idraulica (rilievo dell'impronta di frattura) il metodo più comune prevede l'impiego di un packer per rilievo di impronta che dovrà essere gonfiato ad una pressione più elevata della pressione di rottura (o di chiusura) secondaria: in tal modo il packer aprirà leggermente la idro-frattura e permetterà alla membrana di gomma di prendere una buona impronta della frattura.

Per mezzo di una bussola magnetica o di un giroscopio da foro si determinerà l'azimut di un punto fisso del packer.

Dopo circa 30÷60 minuti dalla pressurizzazione, l'otturatore può essere sgonfiato e recuperato, rilevando l'impronta della frattura e determinandone l'orientamento rispetto a Nord facendo riferimento al punto fisso del packer.

Per il calcolo delle pressioni principali si dovrà seguire quanto riportato nelle norme di riferimento in funzione dell'orientamento della idro-frattura (verticale, verticale e orizzontale, orizzontale, inclinata).

I campioni di roccia prelevati nella sezione di prova verranno utilizzati per l'esecuzione della prova di trazione (diretta, indiretta o prova Brasiliana) indispensabile per l'acquisizione dei parametri necessari all'interpretazione corretta della prova in sito.

I valori di pressione riportati equivalgono a quelli registrati durante la prova se la misura delle pressioni viene effettuata con trasduttori di profondità; se viceversa la misura viene effettuata in superficie bisogna aggiungere ai valori misurati il valore del carico idraulico corrispondente alla colonna d'acqua presente (nei tubi) tra la superficie e la profondità di prova.

Documenti da consegnare

Al termine delle prove deve essere consegnata la seguente documentazione:

a) Relazione conclusiva interpretativa dei risultati ottenuti contenente tra l'altro:
   - informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, data, nominativo dell'operatore);
   - direzione ed immersione del sondaggio;
   - metodo e diametro di perforazione;
   - livello piezometrico della falda;
   - profondità della sezione di prova;
   - descrizione della roccia nella sezione di prova;
   - caratteristiche della attrezzatura impiegata per la prova;
   - descrizione della procedura di prova;
   - grafici pressione/tempo e portata/tempo e descrizione dei metodi utilizzati per determinare Ps ,Pf e Pr

se tali valori non sono chiaramente determinabili dai grafici;
- tabelle dei valori di Ps , Pf , Pr e Po , dei valori calcolati degli sforzi orizzontali massimo smax (sigma massimo) e minimo smin (sigma minimo) e delle direzioni degli sforzi;
- rappresentazione grafica orientata degli sforzi principali;
- descrizione del metodo utilizzato per il calcolo di smax;
- eventuali risultati delle prove di resistenza a trazione (diretta o indiretta) di laboratorio;
- eventuali note ed osservazioni;
- copia del certificato di taratura del trasduttore di pressione di data non anteriore di sei mesi alla data di prova.

Riferimenti normativi:

- 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.

3.8.4.5 Prova dilatometrica in roccia, da eseguire all'interno di fori di sondaggi geognostici, per la determinazione in sito delle caratteristiche di deformabilità di un ammasso roccioso.

La prova permette la determinazione delle caratteristiche di deformabilità della roccia in un foro di sondaggio mediante l'applicazione di un carico alle superfici laterali del foro e la misura degli spostamenti indotti.

A. Attrezzatura

L'attrezzatura da impiegare dovrà avere le seguenti caratteristiche minime:

- sonda dilatometrica di diametro compreso tra 75 e 100 mm e di lunghezza ≥ 1000 mm, in modo che la lunghezza efficace sia pari a 5÷15 diametri; la sonda sarà costituita da un corpo cilindrico di acciaio rivestito da una guaina di gomma armata abbastanza flessibile da trasmettere almeno il 90% della pressione idraulica applicata;
- tubo di calibrazione di proprietà elastiche note, con un diametro interno uguale a quello del foro di prova e di lunghezza simile alla lunghezza attiva della sonda;
- comparatore centesimale per la misura del diametro esterno della sonda dilatometrica, con una precisione non inferiore a ± 0,01 mm;
- sorgente di pressione ((bombola d'azoto o pompa idraulica) e cavi di collegamento in grado di riempire, gonfiare e sgonfiare la sonda e di applicare e mantenere i valori delle pressioni richiesti;
- sistema di regolazione della pressione in grado di mantenere costante la pressione applicata;
- sistema per la misurazione degli spostamenti, in grado di determinare il diametro del foro con una precisione di 1 µm, costituito da almeno 3 trasduttori di spostamento (LVDT) con fondo scala non inferiore a 25 mm, posizionati su piani diversi nella parte centrale della sonda, disposti in posizione diametrale a 60° (o 45° nel caso di 4 trasduttori) l'uno dall'altro e connessi mediante cavi elettrici ad una unità di lettura superficiale;
- sistema per la misura della pressione, costituito da un trasduttore elettrico di pressione o da una coppia di manometri con fondo scala diverso (ad es. 1 MPa e 10 MPa), dotato di una precisione di lettura non inferiore a ± 2% del range di pressione utilizzato per ogni prova;
- unità superficiale per la registrazione e l'elaborazione dei dati, collegata alla sonda dilatometrica, e dotata di display per la visualizzazione sia delle variazioni di diametro della membrana (uno per ciascun trasduttore) che della pressione di espansione della membrana.

- apposita attrezzatura per l'inserimento, l'abbassamento e il sollevamento della sonda all'interno del foro, in

grado di misurare la sua posizione con una precisione di ± 5 cm; possono essere utilizzate aste di perforazione oppure apposite aste di manovra;

L'utilizzo di attrezzature con caratteristiche diverse da quelle sopra indicate deve essere preventivamente autorizzato dalle Ferrovie.

B. Modalità esecutive

Il tratto di foro interessato dalla prova dovrà essere realizzato con la massima cura per garantire la stabilità delle pareti che dovranno essere perfettamente regolari e prive di cavità. Il diametro del foro deve essere adeguato a quello dell'attrezzatura impiegata e, comunque, non potrà essere più largo di 6 mm del diametro della sonda dilatometrica a riposo (ad es. Ø = 101 mm per una sonda Ø = 95 mm).

In genere prima di introdurre la sonda dilatometrica è consigliabile eseguire un'ispezione del foro con una telecamera in modo da individuare eventuali anomalie che possano danneggiare la membrana flessibile.

In caso di necessità di sostenere le pareti del foro è ammesso un rivestimento sino alla sezione superiore di prova oppure la cementazione del foro: in questo ultimo caso il carico idraulico della malta cementizia non dovrà mai essere superiore a 3 m, in modo da evitare l'iniezione della stessa nell'ammasso roccioso; il foro cementato dovrà essere quindi riperforato rispettando le tolleranze sopra specificate e in modo che il rivestimento di cemento abbia uno spessore inferiore a 1 mm.

L'attrezzatura completa dovrà essere controllata e calibrata prima di ogni serie di prove, almeno settimanalmente durante un programma di prove e comunque dopo ogni importante riparazione, come ad es. la sostituzione della membrana. Le operazioni di calibrazione dovranno essere eseguite con una lunghezza delle tubazioni pari a quella che sarà impiegata per le prove.

Con la sonda inserita nel tubo di calibrazione dovrà essere applicata la pressione massima di prova e dovrà essere effettuato un controllo riguardante il mantenimento e le perdite della pressione.

La pressione dovrà quindi essere rilasciata e di nuovo incrementata secondo il range da utilizzarsi nella prova reale, prevedendo almeno 5 intervalli di pressione (MPa) e leggendo le deformazioni (mm) corrispondenti (le letture di deformazione ai 3 trasduttori dovranno essere mediate).

Dovrà quindi essere plottata una curva pressione/dilatazione media e la sua pendenza Mm (MPa/mm) dovrà essere confrontata con l'espansione teorica del cilindro ottenuta dalla teoria elastica. I valori di deformazione conseguenti allo schiacciamento della membrana così determinati dovranno essere sottratti alle deformazioni misurate in fase di prova.

La sonda dovrà poi essere gonfiata in aria, senza confinamento, per determinare il fattore di correzione m per la rigidezza della membrana (MPa/mm), ottenuta come la pendenza della curva pressione/dilatazione non confinata; i valori di pressione letti al manometro in fase di prova dovranno conseguentemente essere corretti per ricavare la pressione realmente applicata alle pareti del foro.

Il sistema di misura dello spostamento dovrà essere controllato indipendentemente con un micrometro: all'interno del range di misura, la precisione totale dell'attrezzatura dovrà essere costante.

Dopo aver controllato che il diametro del foro rispetti la tolleranza sopra specificata, si dovrà introdurre nel foro la sonda dilatometrica abbassandola fino a raggiungere la profondità stabilita per la prova: tale profondità dovrà essere misurata con una precisione di ± 5 cm e registrata.

La sonda dovrà quindi essere fatta espandere sotto una pressione appena sufficiente ad assicurarne il contatto permanente con la parete del foro senza che avvengano scorrimenti: tale pressione di alloggiamento dovrà essere la pressione minima durante la prova.

La prova dovrà essere condotta con almeno 3 cicli di carico/scarico con pressione massima progressivamente

crescente fino ad un valore massimo che dovrà essere il più elevato possibile, compatibilmente con la pressione operativa di sicurezza dell'attrezzatura di prova. In ogni ciclo la pressione dovrà essere aumentata in non meno di 5 incrementi approssimativamente costanti fino a raggiungere il valore massimo.

Ogni incremento di pressione deve essere mantenuto costante durante la lettura della pressione (MPa) e della corrispondente dilatazione del foro (mm). La presenza dei 3 trasduttori di spostamento a 120° permetterà la determinazione dei valori del modulo di deformazione in funzione della direzione.

Raggiunto il valore massimo di pressione si dovrà operare lo scarico portando la pressione al valore minimo di prova, leggendo le coppie pressione/dilatazione agli stessi intervalli di pressione utilizzati nella fase di carico.

Al fine di evidenziare eventuali comportamenti viscosi della roccia, nell'ultimo ciclo di carico la pressione massima raggiunta dovrà essere mantenuta costante fino alla completa stabilizzazione delle deformazioni, con registrazione ad intervalli di tempo opportuni, comunque non superiori a 5 minuti.

Il modulo dilatometrico secante Ed (MPa) dovrà essere calcolato per ogni ciclo di prova, sia in fase di carico che di scarico, secondo la seguente espressione:

$$E_d = (1+\nu_{ar}) \cdot D \cdot \frac{\Delta p_i}{\Delta D}$$

dove:

ν_{ar} = coefficiente di Poisson dell'ammasso roccioso

D = diametro del foro di prova

Δp_i = incremento di pressione nell'intervallo considerato

ΔD = deformazione diametrale media del foro nell'intervallo considerato

In particolare per ciascun ciclo dovranno essere determinati i seguenti moduli:

- modulo di primo carico, calcolato in fase di carico tra la massima pressione applicata nel ciclo precedente e la massima pressione del ciclo considerato;
- modulo di scarico, calcolato in fase di scarico tra la pressione massima e la pressione minima del ciclo considerato;
- modulo di ricarico, calcolato in fase di carico tra la pressione minima del ciclo in esame e la pressione massima del ciclo precedente;
- modulo di deformazione, calcolato in fase di carico tra la pressione minima di prova e la pressione massima del ciclo considerato.

I valori di deformabilità dovranno essere calcolati per ognuna delle tre direzioni di misura e come media, determinata sulla base della deformazione media del foro.

Documenti da consegnare.

Al termine della campagna di prove deve essere consegnata la seguente documentazione:

a) Relazione conclusiva interpretativa dei risultati ottenuti contenente tra l'altro:
   - informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, data, nominativo dell'operatore);
   - metodo, diametro di perforazione e tipo di fluido impiegato;
   - localizzazione dei tratti di foro rivestiti o cementati;
   - livello piezometrico della falda;
   - profondità della sezione di misura;

- descrizione dell'ammasso roccioso nel tratto di prova, con particolare riguardo alle caratteristiche geomeccaniche delle discontinuità;
- caratteristiche della attrezzatura impiegata per la prova;
- metodo utilizzato per la calibrazione e risultati;
- tabelle con le letture registrate durante la prova, includendo i valori non corretti e quelli corretti;
- diagrammi pressione - dilatazione (deformazione diametrale) per ogni trasduttore;
- diagramma pressione - dilatazione media;
- diagramma polare (nel piano perpendicolare al foro) dei valori di dilatazione, in funzione della posizione del trasduttore e della pressione applicata;
- diagramma dilatazione-tempo a pressione costante relativo alla massima pressione applicata dei singoli trasduttori e della media dei trasduttori;
- schema di calcolo e relazioni matematiche per il calcolo dei moduli elastici e di deformabilità;
- tabelle riassuntive e grafici dei moduli elastici e di deformabilità calcolati;
- copia dei certificati di calibrazione del manometro o trasduttore di pressione e dei trasduttori di spostamento di data non anteriore di sei mesi la data della prova.

Riferimenti normativi:

- ISRM (1987). Suggested methods for deformability determination using a flexible dilatometer;
- UNI ENV 1997-1 (2005) – Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali;
- UNI ENV 1997-2 (2007) – Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica - Parte 2: Indagini e prove nel sottosuolo;
- UNI EN 1997-2 (2007) – Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica – Parte 3: Progettazione assistita con prove in sito";
- UNI-EN-ISO 22476-5 (2013) – Prova con dilatometro flessibile.

3.8.4.6 Prova di permeabilità tipo Lefranc da eseguire nel corso della perforazione dei fori di sondaggio geognostico.

La prova di permeabilità misura la conducibilità idraulica del terreno e si esegue misurando le variazioni di livello dell'acqua nel terreno, immettendo o emungendo l'acqua in un tratto di foro predeterminato.

La prova può essere eseguita a carico costante o a carico variabile; in presenza di terreni a conducibilità idraulica non elevata si esegue a carico idraulico variabile mentre nel caso di elevata conducibilità si adotta lo schema a carico idraulico costante.

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 conta-litri 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 senza l'impiego di fanghi, evitando di modificare le caratteristiche granulometriche e di compattezza del terreno;
- 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.

Se il rivestimento provvisorio non è necessario per la stabilità delle pareti del foro, esso dovrà comunque essere utilizzato per isolare il tratto di foro effettivamente interessato dalla prova.

Al di sopra della parte di foro scoperto il rivestimento deve essere sigillato al terreno per evitare che l'acqua possa scorrere nell'intercapedine rivestimento/terreno.

C. Modalità esecutive

L'esecuzione della prova avviene secondo le seguenti modalità:

C1. Carico idraulico variabile (in terreni a bassa permeabilità)

La prova mediante immissione d'acqua deve essere eseguita in un tratto al di sotto della falda. Sia durante la perforazione a varie profondità in avanzamento che alla fine della perforazione stessa.

La procedura per immissione d'acqua è la seguente:

- 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 fino a quando l'altezza dell'acqua nel foro, al di sopra della falda, risulti superiore ad 1/5 della differenza iniziale del livello piezometrico.

Comunque l'intervallo delle letture dovrà variare in funzione della velocità di abbassamento dell'acqua nel foro.

La prova per pompaggio d'acqua si esegue all'interno di un foro rivestito quando è possibile abbassare il livello dell'acqua nel rivestimento mediante una pompa.

Il foro di sondaggio deve penetrare al di sotto del livello di falda per almeno 10 D (dove D = diametro del foro) e comunque, fino ad una profondità tale che la pompa durante la prova non rischi di deprimere il livello stesso in foro fino alla pompa medesima.

La procedura per pompaggio d'acqua è la seguente:

- misura del livello di falda prima dell'inizio della prova;
- emungimento dell'acqua fino ad una quota di poco superiore alla scarpa del rivestimento;
- letture dell'innalzamento dell'acqua nel foro a differenti intervalli.

L'intervallo delle letture dovrà variare in funzione della velocità di risalita dell'acqua 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 seguente 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 conta-litri di sensibilità pari a 0,1 litri. La taratura del conta-litri 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)

Documenti da consegnare.

La documentazione di ciascuna prova comprenderà:

a) Indicazioni, da apporre sull'elaborato stratigrafico del sondaggio all'interno del quale è stata eseguita la prova, relative a:
   - modalità di prova (carico idraulico costante o variabile, per immissione o emungimento);

- schema geometrico della prova (diametro e lunghezza del tratto di prova non rivestito, diametro interno e profondità del rivestimento, caratteristiche della cella filtrante);
- livello di falda;
- tempo di saturazione (se eseguita);
- portata a regime (prove a carico costante);
- letture degli abbassamenti in relazione ai tempi progressivi;
- calcolo della permeabilità, specificando l'algoritmo ed i parametri adottati.
- eventuali note e osservazioni.

Riferimenti normativi:

- Associazione Geotecnica Italiana (1977). Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche.
- UNI EN ISO 22282-1 (2012) Indagini e prove geotecniche - Prove idrauliche nel sottosuolo - Parte 1: Regole generali
- UNI EN ISO 22282-2 (2012) Indagini e prove geotecniche - Prove idrauliche nel sottosuolo - Parte 2: Prove di permeabilità all'acqua eseguite in un foro di sondaggio a circuito aperto
- UNI EN ISO 22282-3 (2012) Indagini e prove geotecniche -Prove idrauliche nel sottosuolo - Parte3: Prove di pressione idraulica nelle rocce
- UNI EN ISO 22282-4 (2012) Indagini e prove geotecniche - Prove idrauliche nel sottosuolo - Parte 4: Prove di pompaggio
- UNI EN ISO 22282-5 (2012) Indagini e prove geotecniche - Prove idrauliche nel sottosuolo - Parte 5: Prove infiltrometriche
- UNI EN ISO 22282-6 (2012) Indagini e prove geotecniche - Prove idrauliche nel sottosuolo – Parte 6: Prove di permeabilità all'acqua eseguite in un foro di sondaggio a circuito chiuso

3.8.4.7 Prova di assorbimento d'acqua tipo Lugeon da eseguire nel corso della perforazione dei fori di sondaggio geognostico.

La prova si esegue iniettando dell'acqua in pressione entro un tratto isolato di foro di sondaggio, perforato in terreni litoidi, o su murature, misurando i volumi assorbiti a diverse pressioni.

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 Af ≥ 2 At, essendo At la superficie della sezione cava del tubo;
- pompa centrifuga in grado di raggiungere pressioni di iniezione di 1 MPa, con portate relativamente elevate;
- conta-litri 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 0,05 Mpa 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.

Al fine di ottenere una buona tenuta degli otturatori è necessario che la pressione di gonfiaggio sia superiore di 0,2÷0,3 Mpa a quella di iniezione dell'acqua.

B. Tarature

Il conta-litri 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 Pc = P/l dove:

Pc = 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 della falda nel foro di sondaggio con sondina piezometrica

Il foro sarà privo di rivestimento; il fluido di perforazione sarà costituito da sola acqua priva di additivi.

Inoltre è indispensabile procedere prima di dare inizio alla prova, allo spurgo e pulizia del foro in corrispondenza di ogni tratto su cui si effettua la prova stessa.

L'otturatore sarà espanso fino ad isolare il tratto finale del foro per una lunghezza compresa tra meno di 1m e fino a 5 metri.

La lunghezza del tratto da provare può comunque variare in funzione della permeabilità della roccia; in generale la lunghezza del tratto di prova sarà $\geq$ 5D dove D è il diametro del foro.

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 sarà mantenuto per almeno 10÷20 minuti, in salita e in discesa, dopo il raggiungimento delle condizioni di regime.

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.

Nella tabella 3.8.4.7-1, vengono evidenziati alcuni riferimenti che dovranno essere di volta in volta verificati in funzione delle condizioni di prova (stato di fratturazione dell'ammasso, tensione litostatica, ecc...).

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 idrauliche.

Tabella 3.8.4.7-1

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

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'Esecutore 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.

I risultati della prova dovranno essere riportati in un grafico delle portate (espresse in litri/minuto) in funzione delle pressioni (MPa), per ciascun gradino in salita e in discesa.

La pressione (p) sarà quella corretta:

$$p = p_m + \gamma_w h - p_c$$

dove:

p_m = pressione letta al manometro
γ_w = densità dell'acqua
h = distanza verticale tra il manometro ed il livello statico della falda
p_c = perdita di carico nel circuito

C2. Prova in risalita con otturatore doppio

Se richiesto dalle Ferrovie, 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 dell'otturatore 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 otturatore 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.

Si deve procedere quindi alla esecuzione della prova secondo le modalità e i contenuti sopra indicati.

Documenti da consegnare.

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 sezione di prova;
- livello statico della falda;
- descrizione della roccia nel tratto di prova;
- caratteristiche della attrezzatura impiegata per la prova;
- tabulato delle letture di cantiere (tempi, portate, pressioni al manometro);
- grafico portate/pressioni corrette 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;
- copia del certificato di taratura del manometro o del trasduttore di pressione di data non anteriore di sei mesi alla data di prova

Riferimenti normativi:

- Associazione Geotecnica Italiana (1977). Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche.
- UNI EN ISO 22282-1 (2012) Indagini e prove geotecniche - Prove idrauliche nel sottosuolo - Parte 1: Regole generali
- UNI EN ISO 22282-2 (2012) Indagini e prove geotecniche - Prove idrauliche nel sottosuolo - Parte 2: Prove di permeabilità all'acqua eseguite in un foro di sondaggio a circuito aperto
- UNI EN ISO 22282-3 (2012) Indagini e prove geotecniche -Prove idrauliche nel sottosuolo - Parte3: Prove di pressione idraulica nelle rocce
- UNI EN ISO 22282-4 (2012) Indagini e prove geotecniche - Prove idrauliche nel sottosuolo - Parte 4: Prove di pompaggio
- UNI EN ISO 22282-5 (2012) Indagini e prove geotecniche - Prove idrauliche nel sottosuolo - Parte 5: Prove infiltrometriche
- UNI EN ISO 22282-6 (2012) Indagini e prove geotecniche - Prove idrauliche nel sottosuolo – Parte 6: Prove di permeabilità all'acqua eseguite in un foro di sondaggio a circuito chiuso

3.8.4.8 Misura di velocità di flusso idrico da eseguirsi con apposito micromulinello, nell'interno dei fori di sondaggio geognostico.

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 finestrate costituite da tubi di rivestimento del foro del diametro ∅ = 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 finestrate costituite da tubi ciechi di diametro pari a quelli finestrati, giuntabili ai medesimi;
- cavi elettrici di collegamento del sensore al registratore e bobina avvolgicavo con lettore della profondità del sensore.

B. Operazioni preliminari

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 che possano alterare l'uniformità della sezione lungo la perforazione.

Alla fine della perforazione si dovrà eseguire un buon lavaggio del foro con acqua pulita; la pressione e la quantità di acqua di spurgo dovrà essere regolata su valori minimi.

Il foro dovrà essere sostenuto con tubazioni di rivestimento provvisorio.

Per l'esecuzione delle misure deve essere realizzata una colonna filtrante costituita da:

- tubazione in PVC cieca nelle estremità superiore ed inferiore e finestrata nel tratto intermedio; il tratto finestrato deve essere ricoperto, per tutta la lunghezza, da rete di nylon a maglia di 0,5 mm fissata solidamente alla tubazione stessa;
- filtro di ghiaietto pulito (Ø=2÷4 mm) nell'intercapedine tra la tubazione forata e la parete del foro;
- idonei tappi impermeabili di isolamento.

La colonna filtrante deve essere realizzata secondo uno schema di massima da concordare con le Ferrovie con indicazione dell'altezza e della quota del tratto finestrato e di quelli ciechi; comunque la parte inferiore cieca deve avere una lunghezza di almeno 100 cm e deve essere chiusa al fondo con un tappo sigillato con mastice e rivetti. Anche i diversi spezzoni di tubo devono essere giuntati e sigillati con mastice e rivetti.

Il tubo piezometrico deve essere finestrato nel tratto di prova in modo da realizzare un rapporto vuoto/pieno pari al 10% della superficie, con apertura delle fessure pari a 0,4÷1,0 mm.

Allo scopo di evitare franamenti nel foro la colonna di rivestimento provvisorio dovrà essere estratta progressivamente e contemporaneamente al riempimento del foro, che durante queste fasi dovrà essere sempre pieno d'acqua.

Al termine dell'installazione l'estremità superiore della colonna filtrante deve essere inserita in un pozzetto metallico di protezione, cementato nel terreno per 20÷30 cm.

C. Taratura e controlli

Prima di procedere ad effettuare la prova, si determineranno i seguenti parametri del sensore:

Vo = velocità iniziale di spunto; R = coefficiente di riduzione;
in cui:
Vo: 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.

Dovrà, inoltre, essere tarato il passo dell'elica (per la conversione da giri/sec a cm/sec) usando uno spezzone di tubo uguale a quello posto in opera.

D. 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 artesiana, 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 dalle Ferrovie.

Documenti da consegnare.

La documentazione 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:

$$V = \frac{nd}{R} + V_o$$

dove:
n = numero di giri dell'elica per unità di tempo.
d = passo dell'elica
R = velocità di spunto iniziale
V_O = 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.

3.8.4.9 Video ispezione in foro di sondaggio verticale o sub-verticale, comunque orientato sul piano orizzontale, con telecamera a colori ad alta definizione montata su aste di alluminio centimetrate o su cavo idoneo dotato di sistema di rilevamento profondità.

La video ispezione in foro di sondaggio consente la visione diretta delle condizioni stratigrafiche e geostrutturali di un ammasso roccioso perforato da un sondaggio verticale o sub-verticale, l'individuazione di eventuali cavità e discontinuità nonché il rilievo delle caratteristiche e delle condizioni di elementi strutturali in muratura, calcestruzzo ecc..

A. Attrezzatura

L'attrezzatura da impiegarsi potrà essere di due tipi in funzione della finalità dell'indagine :

A1. Sonda televisiva standard

La sonda televisiva standard sarà utilizzata quando è sufficiente avere una visione diretta dell'interno di un foro di sondaggio senza dovere eseguire misure stratimetriche o dimensionali al suo interno.

Lo strumento impiegato dovrà presentare le seguenti caratteristiche minime:

- telecamera a colori con sensore CCD/CMOS ad alta risoluzione, impermeabile, messa a fuoco regolabile e sorgente luminosa incorporata;
- obiettivo con visione frontale ed eventualmente laterale;
- sistema manuale/automatico per la determinazione dell'orientazione e della profondità della sonda;
- unità di controllo con monitor a colori;
- sistema di registrazione del video (hard-disk, DVD recorder, ecc.) connesso all'unità di controllo;
- cavi di collegamento, con avvolgicavo dotato di dispositivo per il controllo della profondità della telecamera;
- astine di spinta in fibra di vetro o materiale analogo.

A2. Sonda televisiva tipo BIPS

La sonda televisiva tipo BIPS (Borehole Image Processing System) dovrà essere utilizzata quando è necessario misurare e descrivere con una notevole accuratezza e precisione le caratteristiche geometriche e geomeccaniche delle discontinuità, la giacitura di elementi stratimetrici nonché il dimensionamento di cavità presenti in un foro di sondaggio.

Lo strumento impiegato dovrà presentare le seguenti caratteristiche minime:

- sonda munita di videocamera, con relativa illuminazione, specchio troncoconico di riflessione, unità magnetometrica per la determinazione dell'orientazione, unità servoaccelerometrica per la determinazione dell'inclinazione del foro e di dispositivi di centratura nel foro; in ogni caso la sonda utilizzata dovrà garantire una risoluzione non superiore a 0,5 mm;
- unità di elaborazione e registrazione delle immagini munita di monitor a colori, in grado di ottenere, attraverso la digitalizzazione di un'immagine orientata, una sviluppata a 360° della parete del foro;
- cavi di collegamento, con dispositivo di calata nei fori verticali, che permette di regolare la discesa della sonda e di misurarne la profondità;
- unità di analisi, in grado di elaborare su monitor le immagini a 360° registrate in sito e di acquisire le immagini da video mediante apposito software; in particolare questa unità deve consentire di selezionare le discontinuità in base alla tipologia (stratificazione, scistosità, vene di minerale, fratture, ecc.), alle caratteristiche morfologiche (planari, irregolari, non continue, lenticolari, ecc.), al grado di alterazione (fresche, ossidate, argillificate, ecc.) e di misurarne la giacitura e l'apertura. L'unità dovrà anche consentire l'elaborazione statistica dei dati.

B. Modalità esecutive

Il foro di sondaggio dovrà essere verticale o sub-verticale, del tutto privo di rivestimento, asciutto o contenente acqua limpida, decantata per almeno 3 ÷ 4 ore prima dell'ispezione. Il diametro del foro deve permettere l'inserimento della telecamera ed il suo scorrimento all'interno senza ostacoli o rallentamenti nell'avanzamento.

La telecamera dovrà essere calata lentamente nel foro, fermandosi in corrispondenza dei particolari litologici o strutturali d'interesse, regolando opportunamente il monitor, e l'illuminazione, onde ottenere la migliore qualità possibile delle immagini.

Nel caso di rilievo eseguito con sonda BIPS si dovrà adottare una velocità uniforme non superiore a 0,75÷1,5 m/min e comunque tale da garantire una risoluzione finale non superiore a 0,5 mm.

Le annotazioni relative ai dati generali dell'ispezione e agli aspetti particolari di quanto osservabile saranno eseguite mediante sovrapposizione su video, con l'uso della tastiera per la videoscrittura o mediante registrazione audio.

Tutte le immagini su monitor, incluse le annotazioni aggiunte, dovranno essere registrate su idoneo supporto digitale (hard-disk, CD-DVD, ecc.) in formato riproducibile (Avi, MPeg, ecc.) da definire preventivamente con le Ferrovie.

Documenti da consegnare.

Al completamento dell'indagine dovrà essere presentata la seguente documentazione:

a) relazione descrittiva contenente le informazioni generali (cantiere, ubicazione, data, nominativo dell'operatore), le caratteristiche tecniche della sonda televisiva (dimensioni, tipo e caratteristiche obiettivi), le informazioni necessarie per la completa comprensione del rilievo televisivo e per le successive elaborazioni;
b) planimetria e sezione con l'indicazione della posizione dei rilievi televisivi eseguiti;
c) video in formato riproducibile (Avi, MPeg, ecc.), su idoneo supporto digitale (hard-disk, pen-drive, CD-DVD, ecc.).

Nel caso di rilievo eseguito con sonda tipo BIPS, oltre alla documentazione di cui sopra, dovrà essere consegnata, sia su supporto cartaceo che su supporto informatico, la seguente documentazione:

a) la schematizzazione grafica orientata del reticolo dei piani di divisibilità rilevati durante l'ispezione, con l'indicazione di tutte le misure;
b) documentazione fotografica a colori di tutto il tratto di foro rilevato, sviluppata a 360° con indicazione dell'orientazione e, per i tratti di foro dei quali è richiesta, anche l'interpretazione geostrutturale di dettaglio:
c) tabella riassuntiva con indicazioni relative alla giacitura, alla tipologia, all'apertura, alla forma della traccia e al grado di alterazione di tutte le discontinuità rilevate;
d) sezioni N-S lungo l'asse del sondaggio con riportate le tracce delle discontinuità rilevate;
e) diagramma della densità di fratturazione, espressa come numero di fratture per metro di foro rilevato;
f) diagramma equiareale di Schmidt con i poli dei piani di discontinuità rilevati per ciascuna zona omogenea in cui risulta divisibile il tratto di foro in esame;
g) diagramma equiareale di Schmidt con le aree di isodensità per ciascuna zona omogenea in cui risulta divisibile il tratto di foro in esame;
h) riproduzioni cartacee e video in 2D e 3D;
i) tabella con i dati giaciturali, tipologici e di apertura medi delle famiglie di discontinuità individuate.

3.9 PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO

3.9.1 IDENTIFICAZIONE E DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE FISICHE E CHIMICHE DELLE TERRE

3.9.1.1 Apertura campione di terra, indisturbato o a limitato disturbo, compreso l'esame qualitativo preliminare, la descrizione litologica e la determinazione della consistenza con penetrometro e scissometro tascabili.

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 AGI. 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.

Riferimenti normativi:

- A.G.I. Associazione Geotecnica Italiana (1997). Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche;
- UNI-EN-ISO 14688-1 (2013). Indagini e prove geotecniche - Identificazione e classificazione dei terreni - Parte 1: Identificazione e descrizione;
- UNI-EN-ISO 14688-2 (2013). Indagini e prove geotecniche - Identificazione e classificazione dei terreni - Parte 2: Principi per una classificazione;
- 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;
- ASTM D653-02. Standard terminology relating to soil, rock, and contained fluids,
- ASTM D3282-93 (1997). Standard Practice for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes,
- UNI 11531-1 (2014). Costruzione e manutenzione delle opere civili delle infrastrutture - Criteri per l'impiego dei materiali - Parte 1: Terre e miscele di aggregati non legati

3.9.1.2 Determinazione del contenuto naturale in acqua, media di tre misure.

Riferimenti normativi:

- ASTM D2216- (1998). 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. Part 2: Classification tests;

- UNI EN ISO 1097-5 (2008). Prove per determinare le proprietà meccaniche e fisiche degli aggregati - Parte 5: Determinazione del contenuto d'acqua per essiccazione in forno ventilato

3.9.1.3 Determinazione della massa volumica apparente (peso volume) mediante fustella tarata o pesata idrostatica su campione paraffinato.

Riferimenti normativi:

- BS 1377-1990. Methods of test for soils for civil engineering purposes. Part 2: Classification tests;
- UNI EN ISO 1097-5 (2008). Prove per determinare le proprietà meccaniche e fisiche degli aggregati - Parte 5: Determinazione del contenuto d'acqua per essiccazione in forno ventilato

3.9.1.4 Determinazione della massa volumica reale dei granuli con picnometro.

Riferimenti normativi:

- ASTM D854-00. Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer.
- BS 1377-1990. Methods of test for soils for civil engineering purposes. Part 2: Classification tests.
- UNI EN ISO 1097-6 (2013). Prove per determinare le proprietà meccaniche e fisiche degli aggregati. Determinazione della massa volumica dei granuli e dell'assorbimento d'acqua.

3.9.1.5 Determinazione dei limiti di Atterberg.

Riferimenti normativi:

- 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. Part 2: Classification tests. Clause 4 "Determination of the liquid limit".
- BS 1377-1990. Methods of test for soils for civil engineering purposes. Part 2: Classification tests. Clause 5 "Determination of the plastic limit and plasticity index".
- UNI-CEN-ISO/TS 17892-12 (2005). Indagini e prove geotecniche - Prove di laboratorio sui terreni - Parte 12: Determinazione dei limiti di Atterberg.

3.9.1.6 Determinazione del limite di ritiro.

Riferimenti normativi:

- ASTM D4943-02. Standard Test Method for Shrinkage Factors of Soils by the Wax Method.

3.9.1.7 Analisi granulometrica meccanica eseguita mediante setacci.

Riferimenti normativi:

- Associazione Geotecnica Italiana (1994). Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio
- UNI EN 933-1 (2012). Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati. Determinazione della distribuzione granulometrica. Analisi granulometrica per stacciatura.
- BS 1377-1990. Methods of test for soils for civil engineering purposes. Part 2: Classification tests. 9.2 "Wet sieving method"
- UNI EN 933-2 (1997). Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati. Determinazione della distribuzione granulometrica – Setacci di controllo, dimensioni nominali delle aperture.

3.9.1.8 Analisi granulometrica per sedimentazione secondo il metodo del densimetro o della pipetta

Analisi granulometrica per sedimentazione secondo il metodo del densimetro o della pipetta, esclusa la determinazione della massa volumica reale dei granuli.

Riferimenti normativi:

- Associazione Geotecnica Italiana (1994). Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio
- BS 1377-1990. Methods of test for soils for civil engineering purposes. Part 2: Classification tests. Subclause 9.5 "Sedimentation by the hydrometer method"

3.9.1.9 Prova di permeabilità mediante permeametro a carico costante o variabile

Riferimenti normativi:

- ASTM D5084-00e1. Standard Test Methods for Measurement of Hydraulic Conductivity of Saturated Porous Materials Using a Flexible Wall Permeameter

3.9.1.10 Determinazione ponderale dei solfati e cloruri

Riferimenti normativi:

- BS 1377-1990. Methods of test for soils for civil engineering purposes. Part 3: Chemical and electrochemical tests. Clause 5 "Determination of the sulphate content of soil and ground water"

- BS 1377-1990. Methods of test for soils for civil engineering purposes. Part 3: Chemical and electrochemical tests. Subclause 7.2/subclause 7.3.

3.9.1.11 Determinazione del contenuto in carbonati.

Riferimenti normativi:

- ASTM D4373-02. Standard Test Method for Calcium Carbonate Content of Soils.
- BS 1377-1990. Methods of test for soils for civil engineering purposes. Part 3: Chemical and electrochemical tests. Clause 6 "Determination of the carbonate content"

3.9.1.12 Determinazione del contenuto in sostanze organiche

Riferimenti normativi:

- BS 1377-1990. Methods of test for soils for civil engineering purposes. Part 3: Chemical and electrochemical tests. Clause 4 "Determination of the mass loss on ignition or an equivalent method"
- ASTM D2974-00. Standard Test Methods for Moisture, Ash, and organic Matter of Peat and Other Organic Soils.

3.9.1.13 Determinazione del pH con il metodo colorimetrico o con pH-metro

Riferimenti normativi:

- BS 1377-1990. Methods of test for soils for civil engineering purposes. Part 3: Chemical and electrochemical tests. Clause 9 "Determination of the pH value"
- ASTM D4972-01. Standard Test Method for pH of Soils.

3.9.1.14 Determinazione dell'umidità di campo (Field Moisture Equivalent of Soils)

Riferimenti normativi:

- AASHTO, Designation T 93-68. Determinazione della umidità di campo

3.9.2 DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE FISICHE, CHIMICHE E PETROGRAFICHE DI ROCCE E AGGREGATI

3.9.2.1 Determinazione del contenuto naturale d'acqua, media di tre misure

Riferimenti normativi:

- ISRM (1979). Suggested Methods for Determining Water Content, Porosity, Density, Absorption and Related Properties and Swelling and Slake-Durability Index Properties, part 1 – Test 1 – Suggested method for determination of the water content of a rock sample.
- UNI EN 1097-5 (2008). Determinazione del contenuto d'acqua per essiccazione in forno ventilato. Prove per determinare le proprietà meccaniche e fisiche degli aggregati - Parte 5: Determinazione del contenuto d'acqua per essiccazione in forno ventilato

3.9.2.2 Determinazione della massa volumica apparente su provini squadrati o informi

Riferimenti normativi:

- UNI EN 1097-6 (2013). Determinazione della massa volumica dei granuli e dell'assorbimento d'acqua - Prove per determinare le proprietà meccaniche e fisiche degli aggregati - Parte 6: Determinazione della massa volumica dei granuli e dell'assorbimento d'acqua
- UNI 1936 (2007) Determinazione della massa volumica reale e apparente e della porosità totale e aperta
- ISRM (1979). Suggested Methods for Determining Water Content, Porosity, Density, Absorption and Related Properties and Swelling and Slake-Durability Index Properties, part 1 – Test 2 – Suggested method for porosity/density determination using saturation and caliper techniques.
- BS 812-1995. Testing aggregates. Methods for determination of density

3.9.2.3 Determinazione della massa volumica apparente di aggregati (massa in mucchio)

Riferimenti normativi:

- UNI EN 1097-3 (1999). Determinazione della massa volumica in mucchio e dei vuoti intergranulari.
- UNI 1936 (2007) Determinazione della massa volumica reale e apparente e della porosità totale e aperta
- CNR-BU n.76-1980. Determinazione della massa volumica di aggregati assestati con Tavola a scosse.

3.9.2.4 Determinazione della massa volumica reale

Riferimenti normativi:

- R.D. N.2232 DEL 16/11/1939. Norme per l'accettazione delle pietre naturali da costruzione
- CNR-BU n.64-1978. Determinazione della massa volumica reale dei granuli di un aggregato.
- BS 1377-1990. Methods of test for soils for civil engineering purposes. Part 2: Classification tests.
- ISRM (1979). Suggested Methods for Determining Water Content, Porosity, Density, Absorption and Related Properties and Swelling and Slake-Durability Index Properties, part 1 – Test 4 – Suggested method for porosity/density determination using mercury displacement and grain specific gravity techniques.

- UNI 1936 (2007) Determinazione della massa volumica reale e apparente e della porosità totale e aperta
- CNR-BU n.76-1980. Determinazione della massa volumica di aggregati assestati con Tavola a scosse.
- UNI 9724/7 (1992). "Determinazione della massa volumica reale e della porosità totale e accessibile".

3.9.2.5 Analisi granulometrica per vagliatura mediante setacci serie UNI, ASTM o BS

Riferimenti normativi:

- BS 812-1985. Testing aggregates. Method for determination of particle size distribution. Sieve tests.
- UNI EN 933-1 (2012). Analisi granulometrica per stacciatura.

3.9.2.6 Determinazione dei coefficienti di forma e di appiattimento

Riferimenti normativi:

- UNI EN 933-3 (2012). Determinazione della forma dei granuli. Coefficiente di appiattimento.
- UNI EN 933-4 (2008). Determinazione della forma dei granuli. Indice di forma.

3.9.2.7 Determinazione macroscopica dei caratteri litologici di una roccia

Riferimenti normativi:

- CNR-BU n.104-1984. Identificazione delle rocce più comuni impiegate come aggregati stradali.
- ASTM C119-01. Standard Terminology Relating to Dimension Stone.
- UNI EN 932-3 (2004). Procedura e terminologia per la descrizione petrografica semplificata
- ASTM D653-02. Standard Terminology Relating to Soil, Rock, and Contained Fluids

3.9.2.8 Analisi petrografica mediante determinazione microscopica su sezione sottile dei componenti mineralogici di campioni di roccia, compresa la preparazione di una 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 cm^2 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.

Documenti da consegnare.

Relazione di commento contenente i minerali individuati, le loro caratteristiche e il litotipo di appartenenza, corredata da fotografie a colori eseguite al microscopio polarizzatore su punti significativi della sezione sottile.

Riferimenti normativi:

- ISRM 1977 " Suggested Methods for Petrographic Descritption of Rock"

3.9.2.9 Determinazione dell'assorbimento d'acqua

Riferimenti normativi:

- R.D. N.2232 DEL 16/11/1939. Norme per l'accettazione delle pietre naturali da costruzione
- UNI EN 1097-6 (2013). Prove per determinare le proprietà meccaniche e fisiche degli aggregati - Parte 6: Determinazione della massa volumica dei granuli e dell'assorbimento d'acqua

3.9.2.10 Analisi diffrattometrica su campione di roccia per la identificazione e la determinazione percentuale dei minerali presenti

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.

Documenti da consegnare.

a) Diffrattogrammi originali;
b) Relazione di commento alla preparazione delle polveri, ai risultati ottenuti ed alla individuazione dei minerali presenti.

3.9.2.11 Determinazione dell'equivalente in sabbia mediante tre prove

Riferimenti normativi:

- UNI EN 933-8 (2015). Valutazione dei fini. Prova dell'equivalente in sabbia.
- ASTM D2419-95. Standard Test Method for Sand Equivalent Value of Soils and Fine Aggregate.

3.9.2.12 Determinazione del contenuto di impurezze organiche

Riferimenti normativi:

- BS 1377-1990. Methods of test for soils for civil engineering purposes.
- UNI EN 1744-1 (2013) Prove per determinare le proprietà chimiche degli aggregati - Parte 1: Analisi chimica

3.9.2.13 Determinazione del contenuto di solfati solubili di un aggregato

Riferimenti normativi:

- BS 812-1988. Testing aggregates. Methods for determination of sulphate content.

UNI EN 1744-1 (2013). Prove per determinare le proprietà chimiche degli aggregati - Parte 1: Analisi chimica

3.9.2.14 Determinazione del contenuto di cloruri solubili di un aggregato

Riferimenti normativi:

UNI EN 1744-1 (2013). Prove per determinare le proprietà chimiche degli aggregati - Parte 1: Analisi chimica

- BS 812-1988. Testing aggregates. Methods for determination of water-soluble chloride salts.

3.9.2.15 Determinazione del tenore in silice

La determinazione del tenore in silice dovrà essere effettuata su campioni di roccia preventivamente frantumati e polverizzati. Il metodo prevede la disgregazione mediante fusione alcalina e solubilizzazione acida delle perle di fusione.

Il contenuto in silice deve essere poi determinato per via gravimetrica.

Documenti da consegnare

a) identificazione completa del campione sottoposto a prova;
b) quantità di materiale analizzato;
c) tenore in silice espresso in percentuale con indicazione della prima cifra decimale;
d) documentazione delle misure eseguite;
e) copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e di controllo impiegati di data non anteriore di sei mesi alla data di prova.

3.9.2.16 Determinazione del tenore in carbonati totali

Riferimenti normativi:

- ASTM D4373-02. Standard Test Method for Calcium Carbonate Content of Soils.
- BS 1377-1990. Methods of test for soils for civil engineering purposes. Part 3: Chemical and electrochemical tests. Clause 6 "Determination of the carbonate content".

3.9.2.17 Determinazione del modulo di finezza, esclusa la setacciatura

Riferimenti normativi:

- UNI EN 933-1 (2012). Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati - Parte 1: Determinazione della distribuzione granulometrica - Analisi granulometrica per setacciatura
- UNI EN 933-9 (2013) Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati - Parte 9: Valutazione dei fini - Prova blu di metilene

3.9.2.18 Determinazione della resistenza alla degradazione mediante solfati

Riferimenti normativi:

- UNI EN 1367-2 (2010). Prove per determinare le proprietà termiche e la degradabilità degli aggregati - Parte 2: Prova al solfato di magnesio

3.9.3 DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE MECCANICHE DELLE TERRE

3.9.3.1 Prova di compressione ad espansione laterale libera con rilievo delle curve sforzi/deformazioni su un provino di diametro da 35 a 100 mm compresa la determinazione del contenuto in acqua e del peso di unità di volume

Riferimenti normativi:

- 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.

3.9.3.2 Prova di taglio diretto con scatola di Casagrande su tre provini con rilievo delle deformazioni verticali e delle curve sforzi/deformazioni trasversali nonché determinazione per ogni provino del contenuto in acqua e del peso di unità di volume

Riferimenti normativi:

- Associazione Geotecnica Italiana (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.

3.9.3.3 Prova di taglio con apparecchio anulare per la determinazione della resistenza residua su tre provini con rilievo delle deformazioni verticali e delle curve sforzi/deformazioni nonché determinazione, per ogni provino, del contenuto in acqua e del peso di unità di volume

Riferimenti normativi:

- ASTM D6467-99. Standard Test Method for Torsional Ring Shear Test to Determine Drained Residual Shear Strength of Cohesive Soils

3.9.3.4 Prova di taglio con scissometro da laboratorio (Vane Test), su un provino, compresa la determinazione della resistenza al taglio residua

Riferimenti normativi:

- ASTM D4648-00. Standard Test Method for Laboratory Miniature Vane Shear Test for Satured Fine-Grained Clayey Soil.

- BS 1377-1990. Methods of test for soils for civil engineering purposes.

3.9.3.5 Prova di compressione triassiale eseguita su tre provini con rilievo di tutti i diagrammi necessari per l'interpretazione dei risultati

Riferimenti normativi:

- Associazione Geotecnica Italiana (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.

3.9.3.6 Prova di compressione edometrica da eseguire su campioni indisturbati secondo uno schema di carico e scarico stabilito dalle Ferrovie

Il coefficiente ""E_{ed}"" dovrà essere calcolato per ogni intervallo di carico, mentre la determinazione dei coefficienti "C_V" e "K" verrà eseguita su tre intervalli di carico da scegliersi in base alle tensioni litostatiche esistenti e ai sovraccarichi da applicare, salvo diversa indicazione delle Ferrovie . La determinazione del "T50" (o "T90") e della pressione massima di consolidazione dovrà essere riportata rispettivamente sui grafici abbassamenti/log T e indice dei vuoti/log p.

Riferimenti normativi:

- Associazione Geotecnica Italiana (1994). Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio
- BS 1377-1990. Methods of test for soils for civil engineering purposes. Part 5: Compressibility, permeability and durability tests.
- ASTM D2435-96. Standard Test Method for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils.

3.9.3.7 Determinazione della pressione di rigonfiamento in cella edometrica

Riferimenti normativi:

- ASTM D4546-96. Standard Test Method for One-Dimensional Swell or Settlement Potential of Cohesive Soils – Method C.
- ISRM (1979). Suggested Methods for Determining Water Content, Porosity, Density, Absorption and Related Properties and Swelling and Slake-Durability Index Properties, part 2

3.9.3.8 Determinazione del rigonfiamento lineare in cella edometrica

Riferimenti normativi:

- ASTM D4546-96. Standard Test Method for One-Dimensional Swell or Settlement Potential of Cohesive Soils – Method A

- ISRM (1979). Suggested Methods for Determining Water Content, Porosity, Density, Absorption and Related Properties and Swelling and Slake-Durability Index Properties, part 2

3.9.3.9 Prova di colonna risonante (RC)

La prova di colonna risonante è una prova di laboratorio dinamica che consiste nell'applicare a un provino in cella cilindrica una sollecitazione pulsante torsionale ciclica, ad una frequenza tale da mandare in risonanza il

sistema provino-oscillatore.

Modalità esecutive e caratteristiche della strumentazione:

La prova dovrà essere effettuata su un provino di terreno di forma cilindrica avente diametro ≥ a 50 mm, tramite apparecchiatura dotata di motore torsionale capace di applicare l'eccitazione alla sommità del provino alla sommità del provino fino ad una frequenza non inferiore a 250 Hz, con cella triassiale con capacità di confinamento non inferiore a 1000 kPa, con sistema di misurazione delle pressioni di cella ed interstiziali a due trasduttori di pressione con linearità pari a 0,25%, in un campo di applicazione di 1000 kPa, con trasduttore differenziale di pressione per la determinazione delle variazioni volumetriche con una capacità non inferiore a 500 ml di acqua e 0,25% di linearità, comprensiva di almeno n°10 determinazioni del modulo di taglio e dello smorzamento eseguite su uno stato tensionale isotropo.

Documenti da consegnare:

La documentazione da fornire dovrà comprendere almeno, salvo diversa indicazione delle Ferrovie:

a) Informazioni generali;
b) identificazione completa del campione e del provino sottoposto a prova;
c) tabella riassuntiva con i valori del modulo di taglio G, della deformazione di taglio γ , del rapporto di smorzamento D e dell'incremento delle pressioni neutre Δu durante le varie fasi della prova e nella fase di decadimento;
d) valore del modulo di taglio Gmax espresso in percentuale di quello critico;
e) grafico del modulo di taglio G in funzione della deformazione di taglio γ;
f) grafico dello smorzamento D in funzione della deformazione di taglio γ;
g) grafico del modulo di taglio G/Gmax in funzione della deformazione di taglio γ

Riferimenti normativi:

- ASTM D 4015–07 - Standard Test Methods for Modulus and Damping of Soils by the Resonant-Column Method.

3.9.4 DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE MECCANICHE DI ROCCE E AGGREGATI

3.9.4.1 Taglio di provini prismatici, di dimensioni max cm 20 di lato, da blocchi informi di roccia o da spezzoni di carota di roccia.

3.9.4.2 Carotaggio di provini cilindrici da blocchi informi di roccia o da spezzoni di carota di roccia

Riferimenti normativi:

- ASTM D4543-01. Standard Practices for Preparing Rock Core Specimens and Determining Dimensional and Shape Tolerances.

3.9.4.3 Spianatura e rettifica di provini cilindrici o prismatici di roccia

Riferimenti normativi:

- ASTM D4543-01. Standard Practices for Preparing Rock Core Specimens and Determining Dimensional and Shape Tolerances.

3.9.4.4 Prova di compressione monoassiale su provini di roccia cilindrici o prismatici

Riferimenti normativi:

- ISRM (1979). Suggested methods for determining the uniaxial compressive strength and deformability of rock materials.

3.9.4.5 Prova di compressione monoassiale su provini di roccia cilindrici o prismatici, con determinazione della deformabilità orizzontale e verticale (mediante l'applicazione di almeno 4 estensimetri elettrici) e con rilievo del comportamento post-rottura del provino

Riferimenti normativi:

- ISRM (1979). Suggested methods for determining the uniaxial compressive strength and deformability of rock materials.
- Rivista Italiana di Geotecnica (1994). Raccomandazioni per determinare la resistenza a compressione monoassiale e la deformabilità dei materiali rocciosi, n° 3.

3.9.4.6 Determinazione delle costanti elastiche dinamiche di provini di roccia mediante ultrasuoni utilizzando almeno tre valori diversi di frequenza

Riferimenti normativi:

- ASTM D2845-00. Standard Test Method for Laboratory Determination of Pulse Velocities and Ultrasonic Elastic Constants of Rock.
- ISRM (1978). Suggested methods for determining sound velocity.

3.9.4.7 Determinazione della resistenza a trazione con prova indiretta "Brasiliana" su provini di roccia cilindrici

Riferimenti normativi:

- UNI 6135 (1972). Prova di trazione indiretta prova brasiliana
- ISRM (1978). Suggested Method for Determining Indirect Tensile Strength by Brazil Test.

3.9.4.8 Prova di carico puntiforme per la determinazione dell'indice di resistenza "Franklin" (Point Load Strength Test) su provini cilindrici e/o su frammenti informi di roccia

La prova va eseguita su indicazione delle Ferrovie sia sui provini cilindrici (ad esempio spezzoni di carote di perforazione) che su frammenti o blocchi di roccia informi; in entrambi i casi il risultato dovrà essere riferito a quello relativo a provini di misura standard (50 mm).

Riferimenti normativi:

- 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 (1994). Raccomandazioni per la misura della resistenza al punzonamento,

n° 1.

3.9.4.9 Determinazione dell'angolo di attrito di base di una roccia mediante "Tilt Test, compreso il taglio a sega della superficie di prova

La prova dovrà essere condotta (Barton N.-Choubey V.- "The shear strength of rock joints, theory and practice", Rock Mechanics, vol. 10, 1977) determinando l'angolo di attrito di base mediante almeno n.5 test di scorrimento su superficie liscia (di area minima pari a 150 cm^2), ottenuta mediante semplice intaglio con sega circolare.

Le superfici di prova dovranno essere pulite con acqua per rimuovere la polvere del taglio e, successivamente, seccate all'aria.

Per ciascun test dovrà essere determinato il valore dello sforzo normale applicato e l'indice di Schmidt sulla superfice di prova.

Per ciascuna prova dovrà essere redatto un certificato riportante tutte le determinazioni eseguite ed il calcolo del valore medio dell'angolo di attrito di base misurato.

3.9.4.10 Prova di durezza superficiale su roccia e/o struttura muraria mediante impiego di sclerometro (martello di Schmidt)

Riferimenti normativi:

- 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 machine ability.
- ASTM D5873-00. Standard Test Method for Determination of Rock Hardness by Rebound Hammer Method.
- UNI EN 12504-2 (2012). Prove non distruttive. Determinazione dell'indice sclerometrico.

3.9.4.11 Determinazione del coefficiente di abrasione "Los Angeles"

Riferimenti normativi:

- UNI EN 1097-2 (2010). 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.

- UNI 14617-4 (2012) Lapidei agglomerati - Metodi di prova - Parte 4:Determinazionedella resistenza all'abrasione.

3.9.4.12 Prova di compressione triassiale a velocità di deformazione controllata su provini di roccia con installazione di almeno 4 estensimetri elettrici di misura delle deformazioni longitudinali e trasversali all'asse di carico

Prova di compressione triassiale a velocità di deformazione controllata su provini di roccia con installazione di almeno 4 estensimetri elettrici di misura delle deformazioni longitudinali e trasversali all'asse di carico, esclusa la preparazione del provino.

Riferimenti normativi:

- 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.

3.9.4.13 Prova di taglio su giunti di roccia compresa la determinazione della resistenza residua

Prova di taglio su giunti di roccia compresa la determinazione della resistenza residua, esclusa la preparazione del provino.

Riferimenti normativi:

- ISRM (1974). Suggested Methods for Determining Shear Strength, Document 1.
- ASTM D5607-02. Standard Test Method for Performing Laboratory Direct Shear Strength Tests of Rock Specimens Under Constant Normal Force.

3.9.4.14 Prova di durabilità (Slake Durability Test) su materiale lapideo

Riferimenti normativi:

- ISRM (1979). Suggested Methods for Determining Water Content, Porosity, Density, Absorption and Related Properties and Swelling and Slake-Durability Index Properties, part 2.
- ASTM D4644-87 (1998). Standard Test Method for Slake Durability of Shales and Similar Weak Rocks.

3.9.4.15 Prova di costipamento di una terra per la determinazione della densità massima e dell'umidità ottimale mediante prova ASSTHO Standard o modificata eseguita su almeno 5 provini

Riferimenti normativi:

- BS 1377-1990. Methods of test for soils for civil engineering purposes. Part 4: Compaction related tests. Clause 3 “Determination of dry density/moisture content relationship”
- ASTM D1557-00. Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft3 (2,700 kN-m/m3);
- ASTM D698-00a. Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12,400 ft-lbf/ft3 (600 kN-m/m3);
- UNI EN 13286-2 (2010) Miscele non legate e legate con leganti idraulici - Parte 2 - Metodi di prova per la determinazione della massa volumica e del contenuto di acqua di riferimento di laboratorio - Costipamento Proctor.

3.9.4.16 Determinazione dell'indice "CBR" su un provino preparato in laboratorio mediante compattazione ed imbibizione in acqua per 4 giorni

Determinazione dell'indice CBR su un provino preparato in laboratorio mediante compattazione ed imbibizione in acqua per 4 giorni, compresa la preparazione del provino.

Riferimenti normativi:

- BS 1377-1990. Methods of test for soils for civil engineering purposes. Part 4: Compaction related tests. Clause 7 “Determination of California Bearing Ratio (CBR)”
- ASTM D1883-99. Standard Test Method for CBR (California Bearing Ratio) of Laboratory-Compacted Soils.

- UNI EN 13286 -47 (2012) Miscele non legate con leganti idraulici - Parte 47: Metodo di prova per la determinazione dell'indice di portanza CBR, dell'indice di portanza immediata e del rigonfiamento

3.9.4.17 Determinazione della resistenza al gelo di un aggregato

Riferimenti normativi:

- UNI EN 1367-1 (2007). Determinazione della resistenza al gelo e disgelo.
- UNI EN 14617 – 6 (2012) Metodi di prova - Parte 6: Determinazione della resistenza agli sbalzi termici

3.9.4.18 Determinazione della resistenza al gelo di pietre da costruzione, lastre da pavimentazione, da eseguire su 24 provini cubici di lato 71 mm per le rocce a grana fine e mm 100 per le rocce a grana grossa mediante prove di compressione su provini asciutti, provini saturi d'acqua e su provini sottoposti a cicli di gelo e disgelo

Riferimenti normativi:

- R.D. N.2232 DEL 16/11/1939. Norme per l'accettazione delle pietre naturali da costruzione
- UNI EN 12371 (2010) Metodo di prova per pietre naturali - Determinazione della resistenza al gelo
- UNI EN 14617 – 5 (2012) Lapidei agglomerati - Metodo di Prova 5: Determinazione della resistenza al gelo e disgelo

3.9.5 DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE CHIMICHE, FISICHE E BIOLOGICHE DI ACQUE NATURALI

3.9.5.1 Prelievo di un campione d'acqua da pozzi, piezometri, corsi d'acqua ecc. raccolto in contenitore sterilizzato di vetro o di materiale plastico a chiusura ermetica

Riferimenti normativi:

- UNICHIM (1997), manuale n° 157.

3.9.5.2 Determinazione del contenuto in cloruri.

Riferimenti normativi:

- UNI ISO 9297:2009 Qualità dell'acqua - Determinazione dei cloruri - Titolazione con nitrato di argento ed indicatore cromato (Metodo di Mohr)
- CNR-IRSA (1976). Metodi analitici per le acque. Vol. I

3.9.5.3 Determinazione del contenuto in solfati.

Riferimenti normativi:

- UNICHIM (1995), metodo MU n° 932:95.
- CNR-IRSA (1976). Metodi analitici per le acque. Vol. II

3.9.5.4 Determinazione del contenuto in solfuri.

Riferimenti normativi:

- UNICHIM (1995), metodo MU n° 945:95 "Determinazione dei Solfuri solubili"
- CNR-IRSA (1976). Metodi analitici per le acque. Vol. II

3.9.5.5 Determinazione del contenuto in carbonati.

Riferimenti normativi:

- Standard Methods for the examination of water and wastewater, n° 2320, 18a edizione, 1992.
- CNR-IRSA (1976). Metodi analitici per le acque. Vol. I

3.9.5.6 Determinazione del contenuto in bicarbonati.

Riferimenti normativi:

- UNICHIM (1995), metodo MU n° 1071:95
- Standard Methods for the examination of water and wastewater, n° 2320, 18a edizione, 1992.
- CNR-IRSA (1976). Metodi analitici per le acque. Vol. I

3.9.5.7 Determinazione del contenuto in CO_2 libera.

Riferimenti normativi:

- UNI-UNICHIM 10507:96.

3.9.5.8 Determinazione del contenuto in nitrati.

Riferimenti normativi:

- UNICHIM (1995), metodo MU n° 940:95 "Acque destinate al consumo umano - Determinazione dei nitrati e Azoto nitrico - Metodo spettrometrico diretto all'UV" "
- CNR-IRSA (1976). Metodi analitici per le acque. Vol. I

3.9.5.9 Determinazione del contenuto in nitriti.

Riferimenti normativi:

- UNICHIM, metodo MU n° 939:94 "Determinazione di Nitriti: Azoto nitroso - metodo spettrometrico"
- CNR-IRSA (1976). Metodi analitici per le acque. Vol. I

3.9.5.10 Determinazione della durezza.

Riferimenti normativi:

- UNI-UNICHIM 10505:96
- CNR-IRSA (1976). Metodi analitici per le acque. Vol. I

3.9.5.11 Determinazione del pH.

Riferimenti normativi:

- UNI-UNICHIM 10501:96
- CNR-IRSA (1976). Metodi analitici per le acque. Vol. II

3.9.5.12 Analisi batteriologica con determinazione di coliformi totali, coliformi fecali, streptococchi e salmonelle.

Riferimenti normativi:

- UNICHIM, metodo MU n° 959:94
- UNICHIM, metodo MU n° 952-1 (2001): "Coliformi totali"
- UNI-UNICHIM 10675:2010
- UNICHIM, metodo MU n° 953-1 (2001) e n° 953-2 (2001) "Coliformi fecali"
- UNICHIM, metodo MU n° 954-1 (2002):"Streptococchi fecali metodo MF"
- UNI-UNICHIM 10677(2011)

3.9.5.13 Determinazione della conducibilità e della temperatura.

Riferimenti normativi:

- UNICHIM, metodo MU n° 930/94
- UNI-UNICHIM 10500:96
- CNR-IRSA (1976). Metodi analitici per le acque. Vol. I – II

3.9.5.14 Determinazione del contenuto in calcio.

Riferimenti normativi:

- UNI EN ISO 7980 (2002) Qualità dell'acqua - Determinazione di calcio e magnesio - Metodo per spettrometria di assorbimento atomico
- CNR-IRSA (1976). Metodi analitici per le acque. Vol. II

3.9.5.15 Determinazione del contenuto in magnesio.

Riferimenti normativi:

- UNI-UNICHIM 10541 (1996). Acque destinate al consumo umano - Metodo 902 Magnesio
- CNR-IRSA (1976). Metodi analitici per le acque. Vol. II
- UNI 7980 (2002) Qualità dell'acqua - Determinazione di calcio e magnesio - Metodo per spettrometria di assorbimento atomico

3.9.5.16 Determinazione del contenuto in sodio.

Riferimenti normativi:

- UNI-UNICHIM 10543:96
- CNR-IRSA (1976). Metodi analitici per le acque. Vol. II

3.9.5.17 Determinazione del contenuto in potassio.

Riferimenti normativi:

- UNI-UNICHIM 10542:96
- CNR-IRSA (1976). Metodi analitici per le acque. Vol. II