



# REGIONE DEL VENETO

AREA TUTELA E SVILUPPO DEL TERRITORIO - DIREZIONE INFRASTRUTTURE TRASPORTI E LOGISTICA

UO INFRASTRUTTURE STRADE E CONCESSIONI

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO  
Ing. Marco d'Elia

SISTEMA FERROVIARIO METROPOLITANO REGIONALE

**S. F. M. R.**

(Atto del 06/12/2016)

LINEE VENEZIA-QUARTO D'ALTINO e MESTRE-TREVISO

ELIMINAZIONE DEI P.L. AL km 1+337 e km 1+445

**VENEZIA - Via Gazzera Alta**

PROGETTO ESECUTIVO

INTERVENTO 1.09bis				N° ELABORATO		
ELABORATI TECNICO ECONOMICI				18.03.00.00		
Capitolato speciale d'appalto - Norme tecniche Indagini geognostiche				SCALA -		
				NOME FILE 0409E02-18030000-DCT002_E00		
E00	Emissione		10/2019	L. Marruccelli	R. Zanon	M. Fioratti
Revisione	Descrizione		Data	Redatto	Verificato	Approvato
COMMESSA 0409E02		DOCUMENTO D CT 002	REV. E00	TAVOLA 1 di 1		
Il Direttore Tecnico Ing. Stefano Susani		Il Progettista e Responsabile dell'integrazione fra le prestazioni specialistiche Ing. Michele Fioratti				
 Via Squero, 12 - 35043 Monselice (PD)						

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>4</b>
1.1	CAMPO DI APPLICAZIONE.....	4
1.2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	4
<b>2</b>	<b>PRESCRIZIONI ED ONERI GENERALI .....</b>	<b>21</b>
2.1	GENERALITA' .....	21
2.2	PROGRAMMA DELLE INDAGINE.....	21
2.3	DIREZIONE DEL CANTIERE.....	22
2.4	SOGGETTAZIONE AMBIENTALE.....	22
2.5	DOCUMENTAZIONE DELLE INDAGINI .....	22
2.6	CONFEZIONAMENTO E CONSEGNA DEI CAMPIONI .....	23
2.7	CONSERVAZIONE DELLE CASSETTE CATALOGATRICI.....	23
2.8	UBICAZIONE E QUOTE .....	23
2.9	ONERI DIVERSI .....	24
2.10	INDAGINI IN CORSO D'OPERA.....	25
<b>3</b>	<b>SPECIFICHE GENERALI .....</b>	<b>28</b>
<b>4</b>	<b>MONOGRAFIE DEI SITI DI INDAGINE .....</b>	<b>31</b>
4.1	DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA .....	32
4.2	SONDAGGI STRUMENTATI.....	33
<b>5</b>	<b>PRESCRIZIONI TECNICHE PARTICOLARI .....</b>	<b>34</b>
5.1	INDAGINI GEOTECNICHE .....	34
5.1.1	Sondaggio geognostico meccanico .....	34
5.1.2	Fori verticali a distruzione di nucleo.....	51
5.1.3	Campionamento geotecnico nei sondaggi.....	53
5.1.4	Prove di penetrazione dinamica SPT (Standard Penetration Test).....	58
5.1.5	Prove penetrometriche statiche di tipo meccanico CPT (Cone Penetration Test) .....	62
5.1.6	Prove penetrometriche statiche di tipo elettrico CPTE .....	66
5.1.7	Prove penetrometriche statiche con piezocono CPTU .....	70
5.1.8	Prove con SISMOCONO .....	76
5.1.9	Prove con dilatometro piatto tipo Marchetti DMT .....	77
5.1.10	Prove scissometriche in foro di sondaggio VT (Vane Test).....	80
5.1.11	Perforazione con registrazione dei parametri di perforazione .....	85
5.1.12	Prove con dilatometro piatto tipo Marchetti con prova sismica SDMT .....	87

5.1.13	Piezometri tipo Casagrande .....	93
5.1.14	Piezometro a tubo aperto .....	95
5.1.15	Valutazione della permeabilità dei terreni con il micromulinello .....	97
5.1.16	Pozzetti geognostici .....	98
5.1.17	Saggi speditivi per la determinazione di scotichi .....	99
5.1.18	Campionamento in pozzetto geognostico.....	100
5.1.19	Determinazione dei moduli di deformazione Md e M'd mediante prova di carico a doppio ciclo con piastra circolare (PLT) .....	102
5.1.20	Prove di carico su piastra ad elica (SPLT).....	108
5.1.21	Installazione di inclinometri .....	112
5.1.22	Installazione di estensimetri.....	113
5.2	PROSPEZIONI GEOFISICHE .....	114
5.2.1	Geoelettrica.....	115
5.2.2	Prospezione gravimetrica .....	115
5.2.3	Georadar (GPR).....	115
5.2.4	Geosismica .....	116
5.3	ESAMI GEOTECNICI DI LABORATORIO SU CAMPIONI DI TERRE.....	119
5.3.1	Identificazione dei campioni.....	119
5.3.2	Conservazione dei campioni.....	120
5.3.3	Condizioni di trattamento dei campioni e mantenimento delle caratteristiche naturali.....	121
5.3.4	Criteri di programmazione degli esami di laboratorio .....	122
5.3.5	Criteri di descrizione e di scelta critica delle prove da eseguire .....	126
5.3.6	Esami ed analisi per la determinazione delle caratteristiche fisiche.....	130
5.3.7	Prove di laboratorio per la determinazione delle caratteristiche fisico-meccaniche .....	147
5.4	ESAMI GEOTECNICI DI LABORATORIO SU CAMPIONI DI MATERIALI GRANULARI.....	178
5.4.1	Prove di laboratorio per la determinazione delle caratteristiche fisico-meccaniche di campioni di materiali granulari .....	178
5.5	ESAMI GEOTECNICI DI LABORATORIO SU CAMPIONI DI ROCCIA.....	184
<b>6</b>	<b>SPECIFICA DI CONTROLLO QUALITA' PER SONDAGGI E PROSPEZIONI .....</b>	<b>185</b>
6.1	CONTROLLI PRELIMINARI .....	185
6.1.1	Qualificazione e controlli sul personale .....	185
6.1.2	Controlli e taratura delle attrezzature.....	186



6.1.3	Qualificazione dei laboratori .....	187
6.1.4	Condizioni per l'inizio dei lavori.....	188
6.1.5	Schede .....	189
6.2	CONTROLLI IN CORSO D'OPERA .....	195
6.2.1	Controlli sulle indagini geotecniche, geomeccaniche e geofisiche in sito .....	195
6.2.2	Indagini da eseguire con prove di laboratorio.....	196
6.2.3	Controlli in laboratorio.....	197
6.2.4	Accettazione dei risultati delle prove .....	198

## **1 PREMESSA**

Nel presente capitolato sono indicati i tipi di prove, le attrezzature più idonee e le modalità d'esecuzione delle indagini indispensabili per integrare convenientemente le conoscenze delle caratteristiche geologiche e geotecniche dei terreni interessati dalle opere in progetto.

### **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).

Il modello da applicare per la gestione e la certificazione dei controlli è il PCQ completo dei relativi certificati.

### **1.2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

L'Appaltatore sarà tenuto all'osservanza di tutte le normative cogenti a livello nazionale in merito ai contenuti delle presenti prescrizioni; a queste si aggiungeranno tutte le norme e le istruzioni tecniche non cogenti che verranno richiamate nei successivi paragrafi.

La presente specifica fa riferimento alla documentazione di tipo contrattuale; a tutta la documentazione di progetto quale disegni, specifiche tecniche, ecc.; alle prescrizioni della Direzione Lavori, ed alle seguenti normative.

Normativa Nazionale

- D.lgs. 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"



e s.m.i.

- D.lgs. 9/04/08, 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. 14/01/08 - Nuove Norme Tecniche per le costruzioni
- D.P.R. 05/10/2010, n. 207 - Regolamento di esecuzione ed attuazione del Dlgs. 12/04/06, n. 163
- R.D. n. 2232 del 16/11/1939 - Norme per l'accettazione delle pietre naturali da costruzione
- D.M. 11.3.1988 – Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce
- Circolare LL.PP 24/9/1988 – Circolare applicativa del D.M. 11-3-1988
- D.L.gs 152 del 2006 e s.m.i. – Norme in materia ambientale

#### Normativa Europea

- UNI 10500 (1996) - Acque destinate al consumo umano-misurazione della temperatura
- UNI 10675 (2010): “Acque destinate al consumo umano - Ricerca e conta dei coliformi totali - Tecnica del numero più probabile (MPN)”
- UNI 10677 (2011) “Acque destinate al consumo umano - Ricerca e conta degli enterococchi (streptococchi fecali) - Tecnica del numero più probabile (MPN)”
- 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 CEN ISO/TS 17892-1 (2005) Indagini e prove geotecniche -Prove di laboratorio sui terreni Parte 1: Determinazione del contenuto in acqua
- UNI CEN ISO/TS 17892-2 (2005) Indagini e prove geotecniche -Prove di laboratorio sui terreni Parte 2: Determinazione della massa volumica dei terreni a grana fine
- UNI CEN ISO/TS 17892-3 (2005) Indagini e prove geotecniche -Prove di laboratorio sui terreni Parte 3: Determinazione della massa volumica dei granuli solidi - Metodo del Picnometro
- UNI CEN ISO/TS 17892-4 (2005) Indagini e prove geotecniche -Prove di laboratorio sui terreni Parte 4: Determinazione della distribuzione granulometrica
- UNI CEN ISO/TS 17892-5 (2005) Indagini e prove geotecniche -Prove di laboratorio sui terreni Parte 5: Prova edometrica ad incrementi di carico
- UNI CEN ISO/TS 17892-6 (2005) Indagini e prove geotecniche -Prove di laboratorio sui terreni Parte 6: Prova con la punta conica
- UNI CEN ISO/TS 17892-7 (2005) Indagini e prove geotecniche -Prove di laboratorio sui terreni Parte 7: Prova di compressione non confinata su terreni a grana fine
- UNI CEN ISO/TS 17892-8 (2005) Indagini e prove geotecniche -Prove di laboratorio sui terreni Parte 8: Prova triassiale non consolidata non drenata
- UNI CEN ISO/TS 17892-9 (2005) Indagini e prove geotecniche -Prove di laboratorio sui terreni Parte 9: Prove di compressione triassiale, consolidate, su terreni saturi
- UNI CEN ISO/TS 17892-10 (2005) Indagini e prove geotecniche -Prove di laborat. sui terreni Parte 10: Prove di taglio diretto
- UNI CEN ISO/TS 17892-11 (2005) Indagini e prove geotecniche -Prove

di laborat. sui terreni Parte 11: Determinazione della permeabilità con prove a carico costante o a carico variabile

- UNI CEN ISO/TS 17892-12 (2005). Indagini e prove geotecniche - Prove di laborat. sui terreni Parte 12: Determinazione dei limiti di Atterberg
- UNI CEN ISO/TS 22476-11 (2005) Indagini e prove geotecniche - Prove in sito - Parte 11: Prova con dilatometro piatto
- 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). 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).. Metodi di prova per determinare le proprietà generali degli aggregati. Parte 1: Determinazione della distribuzione granulometrica - Analisi granulometrica per setacciatura
- UNI EN 933-2 (1997). Metodi di prova per determinare le proprietà generali degli aggregati: Determinazione della distribuzione granulometrica - Setacci 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). Metodi di prova per determinare le proprietà generali degli aggregati: Determinazione della percentuale di superfici frantumate negli aggregati grossi
- UNI EN 933-6 (2014). Metodi di prova per determinare le proprietà generali degli aggregati: 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 - Prove 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 4: 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 dei 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 (2008). 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 1097-10 (2014). Prove per determinare le proprietà meccaniche e fisiche degli aggregati - Parte 10: Determinazione dell'altezza di suzione dell'acqua
- UNI EN 1097-11 (2013). Prove per determinare le proprietà meccaniche e fisiche degli aggregati - Parte 11: Determinazione della comprimibilità e della resistenza alla compressione triassiale degli aggregati leggeri

- 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 1367-4 (2008) - Prove per determinare le proprietà termiche e la degradabilità degli aggregati - Parte 4: Determinazione del ritiro per essiccamento
- UNI EN 1744-1 (2013). Prove per determinare le proprietà chimiche degli aggregati - Parte 1: Analisi chimica
- UNI EN 1936 (2007) “Metodi di prova per pietre naturali - Determinazione delle masse volumiche realee 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(streptococchi fecali) - Tecnica del numero più probabile (MPN)
- UNI EN 12371 (2010) Metodo di prova per pietre naturali - Determinazione della resistenza al gelo
- UNI EN 13043 (2004). Aggregati per conglomerati bituminosi e finiture superficiali per strade, aeroporti e altre aree trafficate
- 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 nelle

costruzioni di strade

- 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
- 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
- UNI EN 14617-4 (2012) Lapidei agglomerati - Metodi di prova - Parte 4: Determinazione della resistenza all'abrasione
- UNI EN 14617 – 5 (2012) Lapidei agglomerati - Metodo di Prova 5: Determinazione della resistenza al gelo e disgelo
- □ UNI EN 14617-10 (2012) Lapidei agglomerati - Metodi di prova - Parte 10 - Determinazione della
- resistenza chimica
- 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 14689-1 (2004). Indagini e prove geotecniche - Identificazione e classificazione delle rocce - Identificazione e descrizione
- 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 - Parte 3: 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
- UNI EN ISO 22476-1 (2012) Indagini e prove geotecniche - Prove in sito - Parte 1: Prova penetrometrica con cono elettrico e piezocono
- UNI EN ISO 22476-2 (2012) Indagini e prove geotecniche - Prove in sito - Parte 2: Prova di penetrazione dinamica
- UNI EN ISO 22476-3 (2012) Indagini e prove geotecniche - Prove in sito - Parte 3: Prova penetrometrica dinamica tipo SPT (Standard Penetration Test)
- UNI EN ISO 22476-4 (2013) Indagini e prove geotecniche - Prove in sito - Parte 4: Prova con pressimetro Menard
- 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 ENV 1997-1 (2013) – 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 ENV 1998-5 (2005) - Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per  
la resistenza sismica - Parte 5: Fondazioni, strutture e contenimento ed  
aspetti geotecnici

Normativa internazionali

- 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- 02. Standard Test Method for Elastic Moduli of Intact Rock  
Core Specimens in Uniaxial Compression
- ASTM C119-01. Standard Terminology Relating to Dimension Stone
- 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
- ASTM D421-85 (1998). Standard Practice for Dry Preparation of Soil  
Samples for Particle-Size Analysis and Determination of Soil Constants
- ASTM D422-63 (1998). Standard Test Method for Particle-Size Analysis  
of Soils
- ASTM D427-98. Test Method for Shrinkage Factors of Soils by the  
Mercury Method

- ASTM D653-02. Standard Terminology Relating to Soil, Rock, and Contained Fluids
- ASTM D698-00a. Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12,400 ft-lbf/ft<sup>3</sup> (600 kN-m/m<sup>3</sup>))
- ASTM D854-00. Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer
- ASTM D1556-00 – “Standard Test Method for Density and Unit Weight of Soil in Place by the Sand Cone Method”
- ASTM D1557-00. Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft<sup>3</sup> (2,700 kN-m/m<sup>3</sup>))
- ASTM D1586-99 (2001) - "Standard Test Method for Penetration Test and Split-Barrel Sampling of Soil"
- ASTM D1883-99. Standard Test Method for CBR (California Bearing Ratio) of Laboratory-Compacted Soils
- ASTM D2166-00. Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil
- ASTM D2216-98. Standard Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass
- ASTM D2217-85 (1998). Standard Practice for Wet Preparation of Soil Samples for Particle-Size Analysis
- and Determination of Soils Constants
- ASTM D2419-95. Standard Test Method for Sand Equivalent Value of Soils and Fine Aggregate
- ASTM D2434-68 (2000). Standard Test Method for Permeability of

Granular Soils (Constant Head)

- ASTM D2435-96. Standard Test Method for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils
- 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)
- ASTM D2664-95a. Standard Test Method for Triaxial Compressive Strength of Undrained Rock Core Specimens Without Pore Pressure Measurements
- ASTM D2845-00. Standard Test Method for Laboratory Determination of Pulse Velocities and Ultrasonic Elastic Constants of Rock.
- ASTM D2850-95 (1999). Standard Test Method for Unconsolidated-Undrained Triaxial Compression Test on Cohesive Soils
- ASTM D2938-95. Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Intact Rock Core Specimens
- ASTM D2974-00. Standard Test Methods for Moisture, Ash, and organic Matter of Peat and Other Organic Soils.
- ASTM D3080-98. Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions
- ASTM D3282-93 (1997). Standard Practice for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes
- ASTM D3441-98 - "Standard Test Method for Mechanical Cone Penetration Tests of Soil"
- ASTM D4220-95 (2000) – “Standard Practices for Preserving and



Transporting Soil Samples”

- ASTM D4318-00. Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils
- ASTM D4373- 02. Standard Test Method for Calcium Carbonate Content of Soils
- ASTM D4546-96. Standard Test Method for One-Dimensional Swell or Settlement Potential of Cohesive Soils
- ASTM D4644-87 (1998). Standard Test Method for Slake Durability of Shales and Similar Weak Rocks
- ASTM D4645-87 (1997) – “Standard Test Method for Determination of the In-Situ Stress in Rock Using the Hydraulic Fracturing Method”
- ASTM D4648-00. Standard Test Method for Laboratory Miniature Vane Shear Test for Saturated Fine- Grained Clayey Soil
- ASTM D4719-00 -"Standard Test Method for Prebored Pressuremeter Testing in Soils"
- ASTM D4767-95. Standard Test Method for Consolidated Undrained Triaxial Compression Test for Cohesive Soils
- ASTM D4943-02. Standard Test Method for Shrinkage Factors of Soils by the Wax Method.
- ASTM D4972-01. Standard Test Method for pH of Soils
- ASTM D5079-90 (1996) – “Standard Practices for Preserving and Transporting Rock Core Samples”
- ASTM D5084-00/01. Standard Test Methods for Measurement of Hydraulic Conductivity of Saturated Porous Materials Using a Flexible Wall Permeameter

- ASTM D5407-95 (2000). Standard Test Method for Elastic Moduli of Undrained Intact Rock Core Specimens in Triaxial Compression without Pore Pressure Measurement
- ASTM D5607-02. Standard Test Method for Performing Laboratory Direct Shear Strength Tests of Rock Specimens Under Constant Normal Force
- ASTM D5731-95. Standard Test Method for Determination of the Point Load Strength Index of Rock
- ASTM D5777-00 – “Standard guide for using the seismic refraction cone and piezocone penetration testing of soil”
- ASTM D5778-95 (2000) – “Standard Test Method for Performing Electronic Friction Cone and Piezocone Penetration Testing of Soils”
- ASTM D6032-96 – “Standard Test Method for Determining Rock Quality Designation (RQD) of Rock Core”
- ASTM D6432-99 – “Standard guide for using the surface ground penetrating radar method for subsurface investigation”
- ASTM D6467-99. Standard Test Method for Torsional Ring Shear Test to Determine Drained Residual Shear Strength of Cohesive Soils
- ASTM D6635-01 - "Standard Test Method for Performing the Flat Plate Dilatometer”

#### Documentazione tecnica

- AGI, 1977. "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche"
- AGI, 1994. Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio
- APAT, 2006. (Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi

tecnic) - Fenomeni di dissesto geologico-idraulico sui versanti.  
Classificazione e simbologia. Manuali e Linee Guida 39/2006

- 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 812-1985. Testing aggregates. Method for determination of particle size distribution. Sieve tests
- BS 812-1988. Testing aggregates. Methods for determination of sulphate content
- BS 812-1988. Testing aggregates. Methods for determination of water-soluble chloride salts
- BS 812-1995. 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  $M_d$  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

## **2 PRESCRIZIONI ED ONERI GENERALI**

### **2.1 GENERALITA'**

Nella effettuazione delle attività concernenti i sondaggi e le prospezioni, senza che l'elencazione debba considerarsi completa, si devono considerare inclusi oneri e costi per l'ottenimento dei permessi di lavoro e stazionamento, oneri per l'accesso alle zone o ai punti di lavoro e stazionamento, oneri per l'accesso alle zone o ai punti di lavoro con il personale e le attrezzature necessarie, opere di ripristino delle condizioni precedenti l'esecuzione dei lavori, il risarcimento dei danni a terzi, i rilievi topografici, le fotografie, la cartografia, i carburanti e ogni altro materiale di consumo, i costi logistici e del personale, le attrezzature accessorie, il trasporto e la spedizione dei campioni ai laboratori, l'interpretazione, la restituzione e la documentazione dei lavori eseguiti e quanto altro non elencato direttamente o indirettamente necessario per l'esecuzione finita e a perfetta regola d'arte di tutti i lavori oggetto dell'Appalto.

Di seguito vengono descritte sommariamente le prescrizioni ed oneri generali per i singoli argomenti evidenziati, più approfonditamente sono descritti nelle prescrizioni tecniche di ogni indagine.

### **2.2 PROGRAMMA DELLE INDAGINE**

L'Impresa Esecutrice dovrà predisporre un programma di lavori di indagini che indicherà tipo e quantità delle singole lavorazioni, unitamente alla ubicazione dei punti d'indagine.

Il programma di lavoro sarà realizzato con personale, modalità operative ed attrezzature conformi alle prescrizioni del presente Capitolato, senza apportare variazioni che non siano state concordate con la Direzione Lavori. Il programma di lavoro potrà essere modificato, con l'approvazione della Direzione Lavori, qualora motivato da ragioni emergenti nel corso dei lavori e non prevedibili in fase di prima stesura.

## **2.3 DIREZIONE DEL CANTIERE**

La direzione del cantiere d'indagine sarà affidata ad un geologo, abilitato all'esercizio della professione, che dovrà essere investito del titolo e delle funzioni di "Geologo Direttore di Cantiere", sarà cura dell'Impresa Esecutrice comunicare ufficialmente alla Direzione Lavori il nominativo del "Geologo Direttore di Cantiere".

Il "Geologo Direttore di Cantiere" sarà presente ai lavori a tempo pieno e sarà responsabile dell'esecuzione dei lavori, della compilazione dei dati e della loro trasmissione.

Il "Geologo Direttore di Cantiere" sarà affiancato da uno o più geologi rilevatori che avranno il compito di provvedere all'esatta individuazione e classificazione dei terreni oggetto di indagine nonché alla definizione degli aspetti geologici, idrogeologici e geotecnici delle installazioni, delle prove e delle misure in sito.

## **2.4 SOGGETTAZIONE AMBIENTALE**

Oltre al rispetto delle normali procedure anti-infortunistiche previste dalla vigente legislazione, nel caso che l'Impresa Esecutrice sia chiamato ad operare entro aree nelle quali esistano o siano temuti fenomeni di inquinamento ad opera di sostanze tossiche o nocive, esso è tenuto a prendere le misure di sicurezza per prevenire la contaminazione da diretto contatto o inalazione del personale addetto ai lavori.

## **2.5 DOCUMENTAZIONE DELLE INDAGINI**

Durante lo svolgimento delle attività di cantiere l'Impresa Esecutrice avrà cura di compilare un Giornale dei Lavori, a comprensione di tutte le attività connesse alle indagini, da sottoporre, a richiesta, all'esame della Direzione Lavori.

La documentazione preliminare del lavoro svolto verrà progressivamente aggiornata nel corso dei lavori, sarà resa disponibile presso l'Impresa Esecutrice quando richiesta e sarà altrimenti trasmessa alla Direzione Lavori a fine

campagna. La documentazione in forma definitiva sarà presentata non oltre 20 gg. solari dal completamento dei lavori.

## **2.6 CONFEZIONAMENTO E CONSEGNA 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.

## **2.7 CONSERVAZIONE DELLE CASSETTE CATALOGATRICI**

Le cassette catalogatrici con il carotaggio saranno sistemate, in luogo da concordare con la Direzione Lavori, al riparo dagli agenti atmosferici; dovranno essere conservate in modo che siano facilmente ispezionabili. Le cassette dovranno essere conservate fino ad esito positivo del collaudo di ciascun lotto funzionale.

## **2.8 UBICAZIONE E QUOTE**

La posizione planimetrica di ciascun punto d'indagine sarà definita rispetto a capisaldi individuati dall'Impresa Esecutrice, e concordati con la Direzione Lavori, con un'approssimazione di  $\pm 1$  m. La quota di ciascun punto di indagine



sarà determinata con l'approssimazione di più o meno 10 cm, rispetto al livello medio o al riferimento locale fornito.

## 2.9 ONERI DIVERSI

Nella effettuazione dei lavori oggetto della presente Sezione l'Impresa Esecutrice dovrà altresì tener conto dei seguenti oneri ed adempimenti:

- i maggiori oneri derivanti dalle soggezioni e difficoltà connesse con la effettuazione di lavori in galleria e/o comunque in sotterraneo;
- la effettuazione della campagna di indagine relativa ad una stessa zona in fasi successive, sia che questo derivi da esigenze di sviluppo della progettazione o di avanzamento dei lavori di costruzione, sia che questo derivi da supplementi d'indagine che, a suo insindacabile giudizio, la Direzione Lavori ritenesse necessario effettuare, sia ancora che ciò derivi da impedimenti e soggezioni connesse con la disponibilità delle aree e delle autorizzazioni;
- la guardiania e custodia delle attrezzature di rilevazione installate e dei campioni prelevati al fine di garantirne la validità ed attendibilità per tutto il periodo di rilevazione previsto;
- il trasporto a rifiuto di tutti i materiali di risulta comunque connessi con le attività di sondaggio;
- la realizzazione delle opere di drenaggio necessarie a garantire il regolare deflusso delle acque superficiali al fine di evitare inconvenienti ai sondaggi in corso e di prevenire possibili danni alle aree limitrofe a quelle di lavoro;
- l'installazione e l'esercizio delle attrezzature necessarie, ove ciò sia richiesto, per il controllo ed il contenimento delle acque di falda.

## 2.10 INDAGINI IN CORSO D'OPERA

Per confermare i dati acquisiti in fase progettuale mediante indagini geognostiche, indagini geofisiche e prove di laboratorio effettuate nell'area e sui campioni indisturbati o rimaneggiati prelevati nell'area interessata dal progetto sarà richiesta l'esecuzione da parte dell'appaltatore di una campagna di indagini integrative in corso d'opera.

Dette indagini aggiuntive a quelle già effettuate in fase progettuale serviranno a confermare le ipotesi ed i calcoli progettuali ricavati ed elaborati in base ai risultati della prima campagna, ad integrarle ed eventualmente a mettere in evidenza discrepanze od anomalie rispetto ai dati raccolti nella prima fase.

Nell'esecuzione della campagna geognostica in fase progettuale, molto spesso, alcuni luoghi dell'area di progetto non sono raggiungibili dai mezzi d'indagine senza la preparazione e la costruzione di apposite piste e/o piazzole. All'inizio della cantierizzazione, cioè dopo la consegna dei luoghi alla ditta appaltatrice, sarà possibile realizzare gli accessi atti a raggiungere con le attrezzature necessarie i luoghi più adatti ad eseguire indagini complementari ed integrative in modo da confermare ed integrare le ipotesi progettuali oppure evidenziare eventuali anomalie o diversità della struttura dei terreni nel sottosuolo che non era stato possibile evidenziare in precedenza.

Le suddette prove integrative dovranno essere portate a termine il prima possibile dopo la consegna dei luoghi all'appaltatore, eventuali indagini o prove aggiuntive potranno essere ordinate dalla Direzione Lavori in base ai risultati emersi.

Le prove potranno essere suddivise in due categorie:

- Prove di controllo, e cioè eseguite a piccola distanza da quelle già eseguite con le stesse modalità per confermarne la congruità e la validità. Si possono quantificare indicativamente in una ogni quattro/cinque eseguite.

- Prove integrative atte ad interpolare i dati già ottenuti e confermare le basi su cui sono fondati i calcoli del progetto. Dette prove avranno anche lo scopo di evidenziare eventuali difformità nei dati estrapolati in precedenza.

L'ubicazione e la quantificazione delle prove da eseguirsi in corso d'opera saranno decise progetto per progetto in quanto è impossibile fare una previsione generalizzata. Il piano delle prove in corso d'opera è legata a molteplici fattori, e precisamente:

- risultati della prima campagna di prove
- tipologia dei terreni
- tipologia e dimensioni dell'opera
- tipologia ed importanza delle strutture di progetto
- eventuale monitoraggio dell'opera stessa

Le indagini in corso d'opera saranno simili a quelle effettuate in corso di progettazione che normalmente sono:

- Sondaggi a carotaggio continuo
- Prove geotecniche in foro:
  1. STP
  2. Vane Test
  3. Prove di permeabilità
  4. Prove dilatometriche
- Posizionamento ed installazione di piezometri (sia a tubo aperto che di tipo Casagrande)
- Prove penetrometriche statiche e/o dinamiche

- Prove dilatometriche
- Prove di carico su piastra
- Indagini geofisiche

Eventuali indagini aggiuntive, eccedenti quelle previste, potranno essere richieste dalla Direzione Lavori in corso d'opera e dovranno essere eseguite dall'appaltatore. Queste indagini supplementari, aggiuntive a quelle previste in corso d'opera, verranno compensate a parte secondo i prezzi di mercato vigenti alla data d'offerta.

Sarà compito del progettista preparare, progetto per progetto, il piano delle indagini da eseguirsi in corso d'opera definendone il numero, il tipo, la loro ubicazione ed il programma temporale di esecuzione. L'appaltatore dovrà quotare nella sua offerta queste prove.

Nel caso l'appaltatore non provveda ad effettuare le indagini previste, il Direttore dei Lavori ne detrairà l'importo corrispondente sulla base dei prezzi di mercato vigenti alla data d'offerta.

Tale scelta autonoma dell'appaltatore, nel rispetto della citata normativa, comporta che in corso d'opera egli ha riscontrato la perfetta corrispondenza delle ipotesi geotecniche di progetto con le caratteristiche dei terreni interessati dalla realizzazione delle opere di progetto.

### 3 SPECIFICHE GENERALI

Tutti i punti d'indagine dovranno essere identificati planimetricamente sulla cartografia di base, facendo riferimento ad almeno tre punti noti, la quota del piano campagna in corrispondenza di ciascun punto di indagine dovrà sempre comparire sulle stratigrafie.

La quota d'inizio sondaggio/prova penetrometrica/prova dilatometrica e le misurazioni dei livelli di falda faranno sempre riferimento alla carta tecnica. Il livello di falda sarà riferita al piano campagna o bocca foro (quota relativa) e verrà calcolata la quota assoluta in funzione all'ubicazione altimetrica del punto del d'inizio sondaggio/prova penetrometrica/prova dilatometrica.

L'ubicazione in cantiere delle singole verticali dovrà essere sempre controllabile dalla Direzione Lavori tramite picchetti o targhette contraddistinti con la sigla della verticale. Tutto il materiale prelevato e non destinato al laboratorio (cassette catalogatrici con le carote e campioni) dovrà essere conservato in cantiere (o trasportato in idoneo sito) fino al termine delle indagini, al riparo degli agenti atmosferici e da possibili danneggiamenti. Al termine dei lavori l'Appaltatore dovrà comunque trasportare tale materiale presso un deposito idoneo e lì conservarlo, in condizioni tali da preservarne l'integrità, per almeno un anno a partire dalla data di consegna di tutti gli elaborati (compresi gli esiti delle prove di laboratorio) a disposizione della Direzione Lavori per eventuali verifiche.

I campioni destinati al laboratorio potranno essere temporaneamente conservati in locale fresco e coperto, saranno quindi accuratamente imballati in casse di peso non superiore a 60 kg ed inviati al laboratorio.

L'imballaggio ed il mezzo di trasporto saranno tali da evitare che i campioni risentano di vibrazioni o colpi durante questa fase.

Sono previste le seguenti metodologie di indagine:

- sondaggi stratigrafici a rotazione a carotaggio continuo per il rilevamento della stratigrafia, la posa in opera di strumentazione e l'esecuzione di prove in sito;
- sondaggi geognostici con prelievo di campioni per analisi chimico-fisiche;
- fori verticali a distruzione di nucleo;
- prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati e campioni ambientali;
- prelievo di campioni di terreni e fluidi per analisi chimico-fisiche;
- esecuzione di prove penetrometriche dinamiche a fondo foro conformi allo Standard Penetration Test (S.P.T.);
- esecuzione di prove penetrometriche dinamiche continue DPSH;
- prove penetrometriche statiche di tipo meccanico CPT. (Cone Penetration Test);
- prove penetrometriche statiche di tipo elettrico CPTE;
- prove penetrometriche statiche con piezocono (C.P.T.U.) e prove di dissipazione delle sovrappressioni neutrali;
- prove con sismocono
- prove dilatometriche con dilatometro piatto tipo “Marchetti”(DMT)
- prove scissometriche in foro di sondaggio VT (Vane Test);
- prove pressiometriche con pressiometro tipo “Menard”;
- perforazione con registrazione dei parametri di perforazione;
- prove di permeabilità in foro tipo “Lefranc”;
- prove di permeabilità tipo “Lugeon”;
- prove di permeabilità “tipo BAT”;
- prove di permeabilità in foro con micromulinello;
- installazione di piezometri tipo “Casagrande”;

- installazione di piezometri a tubo aperto;
- installazione di piezometro di tipo elettrico ed elettropneumatico;
- installazione e monitoraggio di tubi inclinometrici;
- installazione e monitoraggio di estensimetri;
- esecuzione di pozzetti esplorativi;
- Saggi speditivi per la determinazione di scortichi;
- Campionamento in pozzetto geognostici;
- prove di carico su piastra di tipo tradizionale (PLT)
- prove di carico su piastra ad elica (SPLT)
- indagini geofisiche;
- esami geotecnici di laboratorio (fisico - chimici).

Per le prove sopracitate vengono fornite le specifiche tecniche peculiari.

Potranno inoltre essere individuate altre prove, a seguito di problematiche o situazioni particolari, per le cui specifiche si rimanda alla bibliografia tecnica corrente.

Tutte le operazioni di cantiere saranno seguite, a carico dell'Appaltatore, da un Geologo, responsabile di cantiere, che garantirà la corretta esecuzione delle prove e firmerà tutta la documentazione tecnica da consegnare alla Direzione Lavori.

## 4 MONOGRAFIE DEI SITI DI INDAGINE

Ogni punto di indagine dovrà essere corredato da una monografia redatta in modo tale da poter identificare sul terreno il punto di indagine anche a distanza di parecchio tempo dall'intervento.

Ogni scheda monografica dovrà essere corredata di quanto segue:

- Stralcio planimetrico a grande scala (1:25.000 indicativamente) su cui si possano individuare rapidamente gli accessi principali al luogo d'indagine. In caso di luoghi non facilmente individuabili sarà redatta una breve relazione che indichi la via più semplice e rapida per raggiungere il luogo specifico.
- Uno schizzo o stralcio planimetrico a piccola scala (1:500/1000 indicativamente) con la precisa ubicazione dei punti di indagine e dei capisaldi utilizzati per il riferimento, con la loro descrizione e le distanze dal punto di indagine.
- Uno dei capisaldi dovrà essere di riscontro altimetrico. La quota del piano campagna in corrispondenza dell'indagine (bocca foro in caso di sondaggio) dovrà essere determinata per via strumentale con una tolleranza massima di  $\pm 5$  cm rispetto al livello medio del mare; mentre per l'ubicazione planimetrica viene richiesta un'approssimazione di  $\pm 50$  cm. In caso di opere importanti potrà essere specificatamente richiesto il posizionamento georeferenziato di ogni punto di indagine.
- Tutti i dati dovranno essere raccolti e sintetizzati in una scheda in cui dovrà comparire tra l'altro:
  1. Regione, Provincia e Comune
  2. Via e/o località
  3. Proprietario del terreno
  4. Identificazione e tipo dell'indagine



5. Data
6. Quota assoluta della prova
7. Quota media del piano campagna
8. Distanze dai vari punti di riferimento
9. Tipo di strumentazione utilizzata per i rilievi
10. Presenza o meno di falda
11. Eventuali commenti

#### **4.1 DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA**

La monografia di ogni punto di indagine dovrà essere corredata da una documentazione fotografica rappresentativa; più precisamente dovranno essere documentati da fotografie:

- I capisaldi di riferimento.
- I punti di indagine dovranno essere documentati con una serie di tre fotografie con punti di vista a 120° uno dall'altro (per esempio: foto 1 N-S; foto 2 SE-NW e foto 3 SW-NE).

Saranno impiegate esclusivamente fotocamere digitali dotate di adeguata risoluzione

In ogni foto dovrà apparire ben visibile e leggibile una lavagnetta su cui siano riportati tutti i dati di identificazione del sito di indagine o dei capisaldi di riferimento.

Nella documentazione fotografica del sito, prima e dopo l'intervento d'indagine, è tassativamente richiesto che l'inquadratura fotografica sia la stessa.

## 4.2 SONDAGGI STRUMENTATI

Nel caso di sondaggi equipaggiati con piezometri o con altri strumenti di monitoraggio, destinati a letture periodiche, protetti da pozzetti a livello del piano campagna, la loro posizione dovrà essere evidenziata, quando possibile, da un'asta o tubo metallico, cementato nel terreno nelle immediate vicinanze del pozzetto. Tale asta o tubo dovrà essere sporgente dal terreno di almeno un metro e dipinto con una colorazione che sia facilmente visibile nel contesto cromatico anche da lontano. Alla sommità di quest'asta dovrà essere fissata una targhetta metallica indicante i dati di identificazione dell'intervento.

In alternativa, quando per motivi di disturbo detta asta o tubo non potesse essere posizionata, la posizione dovrà poter essere individuata per mezzo di due marker cementati nel terreno il più vicino possibile al sito di indagine e ben descritti nella monografia.

La suddetta monografia sarà parte integrante della documentazione finale relativa alle indagini geognostiche.

## 5 PRESCRIZIONI TECNICHE PARTICOLARI

### 5.1 INDAGINI GEOTECNICHE

#### 5.1.1 *Sondaggio geognostico meccanico*

##### **Premessa**

Le perforazioni a carotaggio continuo vengono programmate ed eseguite per raggiungere uno o più dei seguenti scopi:

- carotaggio integrale e rappresentativo del terreno attraversato e ricostruzione del profilo stratigrafico mediante il riconoscimento dei campioni estratti dalle formazioni attraversate;
- prelievo di campioni di terreno, sia rimaneggiati che indisturbati, da sottoporre a prove ed analisi per la determinazione delle proprietà fisiche, chimiche e meccaniche;
- esecuzione diretta di prove e misure a varie profondità per la determinazione delle proprietà geotecniche in sito;
- determinazione del livello dell'eventuale falda;
- descrizione stratigrafica in chiave geotecnica;
- annotazione di osservazioni atte alla caratterizzazione geotecnica del terreno;
- eventuale strumentazione del foro di sondaggio per l'esecuzione di misure in sito.

Il dettaglio delle modalità esecutive dovrà essere descritto nel programma delle indagini. Nel seguito si definiscono le caratteristiche delle attrezzature di perforazione da impiegarsi e le operazioni più direttamente connesse alla perforazione.

Le altre operazioni quali quelle di campionamento, prova ed attrezzatura dei fori

di sondaggio, sono invece descritte nei capitoli relativi a ciascuna specifica voce.

### Attrezzature di perforazione

Sonda a rotazione con testa idraulica e con i requisiti minimi sottoelencati:

Velocità di rotazione	0 ÷ 500 rpm
Coppia massima	≥ 300 Kg/m
Corsa utile	150÷300cm
Spinta	≥ 4000 Kg
Tiro	≥ 4000 Kg
Pressione pompa (gruppo energia autonomo)	≥ 70 bar
Argano a fune	presente

La pompa avrà circuito supplementare per il rabbocco del fluido a testa foro e nel caso di impiego di fanghi di circolazione sarà disponibile l'impianto per la preparazione ed il recupero degli stessi.

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

### Utensili per la perforazione

Gli utensili elencati dovranno essere disponibili in sito in tutti i casi in cui siano di fatto impiegabili e comunque fare parte della dotazione dell'Impresa Esecutrice, in modo da poter essere rapidamente trasferiti in cantiere qualora necessari.

- Carotieri semplici, con valvola di testa a sfera e calice.
  - ✓ Diametro nominale  $\varnothing$  est = 101 ÷ 146 mm
  - ✓ Lunghezza utile l = 150 ÷ 300cm
- Carotiere doppio a corona sottile (T2, T6) con estrattore.
  - ✓ Diametro nominale  $\varnothing$  est = 100 mm

- Carotiere triplo con portacampione interno estraibile ed apribile longitudinalmente (T6S), con estrattore e calice.
- Diametro nominale  $\varnothing$  est = 100 mm
- Corone di perforazione in widia e diamantate.
- Aste di perforazione con filettatura tronco-conica.
- Diametro esterno  $\varnothing$  est = 60 ÷ 76 mm.

#### **Utensili per la pulizia del fondo foro**

- Carotiere semplice, lunghezza = 40 ÷ 80 cm
- Attrezzo a fori radiali, da impiegarsi con circolazione del fluido uscente dall'utensile con inclinazione di 45° ÷ 90° rispetto alla verticale.
- Campionatore a pareti grosse  $\varnothing$  100 mm, con cestello di ritenuta alla base per l'asportazione di eventuali ciottoli.

#### **Tubazioni di rivestimento provvisorio**

Il foro di sondaggio nei terreni dovrà essere sempre rivestito (tranne qualche caso in cui si operi in roccia o terreno argilloso compatto fuori falda).

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

- Spessore tubo = 8 ÷ 10 mm
- Diametro interno  $\varnothing_{int}$  = 107 ÷ 162 mm
- Lunghezza spezzoni l = 50 ÷ 300 cm (normalmente 150 cm)

L'Impresa Esecutrice potrà impiegare rivestimenti con diverse caratteristiche, in relazione al tipo di attrezzatura di perforazione prescelta, informando preventivamente la Direzione Lavori.

## Strumenti di controllo e prova

Dovranno fare parte del corredo permanente della attrezzatura da perforazione i seguenti strumenti portatili:

- Scandaglio a filo graduato, per la misura della quota di fondo foro raggiunta dalla perforazione di adeguata lunghezza.
- Sondina piezometrica elettrica (freatimetro) di adeguata lunghezza.
- Penetrometro tascabile (Pocket Penetrometer), con fondo scala maggiore o uguale a 500 KPa.
- Scissometro tascabile (Torvane).

## Modalità esecutive

Il sondaggio geotecnico deve essere eseguito come di seguito indicato

### g.1) Carotaggio continuo

Carotaggio continuo e rappresentativo del terreno attraversato, con percentuale di recupero  $\geq 85\%$ , da eseguire a secco, senza fluido di perforazione se con carotiere semplice; con circolazione di fluido se con carotieri tipo T2, T6, T6S.

I carotieri saranno azionati da aste; è ammesso l'uso di sistemi “wire-line” purché si ottenga la richiesta percentuale di carotaggio e non si producano dilavamenti e/o rammollimenti del materiale.

Qualora richiesto, l' Impresa Esecutrice desisterà dall'uso di sistemi wire-line per proseguire con il sistema ad aste.

Le carote dovranno essere estruse dai carotieri con tutti gli accorgimenti necessari per diminuire il disturbo (per esempio estrusione a pressione) e conservare la corretta successione degli strati; in ogni caso le carote (anche e soprattutto di terreni sabbiosi) non dovranno essere estruse in contenitori tipo secchio per poi essere riposte nelle cassette catalogatrici; dovranno

essere sempre estruse in una canaletta di adeguata lunghezza per poi essere poste nelle cassette catalogatrici.

g.2) Rivestimento provvisorio

La perforazione sarà sempre seguita dal rivestimento provvisorio del foro tranne i casi di perforazione in roccia compatta o in terreni argillosi compatti dove si escluda il franamento del foro. Le manovre di rivestimento possono essere eseguite con l'uso di fluido in circolazione, curando che la pressione del fluido sia la minore possibile e controllandola mediante manometro. Il disturbo arrecato al terreno deve essere contenuto al minimo, fermando, se necessario, la scarpa del rivestimento a circa 50 cm dal fondo foro (con l'esclusione del metodo wire-line) in modo da non investirlo in forma eccessivamente diretta con il getto di fluido in pressione.

Durante le manovre di rivestimento e prima della successiva manovra di carotaggio dovranno essere presi tutti gli accorgimenti necessari per evitare il rifluimento del terreno entro la colonna.

g.3) Stabilità del fondo foro

La stabilità del fondo foro sarà assicurata in ogni fase della lavorazione.

Il battente di fluido in colonna deve essere mantenuto prossimo alla bocca foro mediante rabbocchi progressivi, specialmente durante l'estrazione del carotiere e delle aste, che deve avvenire con velocità iniziale molto bassa ( $1 \div 2$  cm/s) ed essere eventualmente intervallata da pause di attesa per il ristabilimento della pressione idrostatica del fluido sul fondo foro. Ciò riguarda l'estrazione del carotiere e delle fustelle dei campionatori ad infissione conclusa. Debbono essere evitati indesiderabili effetti di risucchio che possono anche verificarsi nel caso di brusco sollevamento della batteria di rivestimento, qualora occlusa all'estremità inferiore dal terreno per insufficiente circolazione di fluido durante l'infissione.

g.4) Pulizia del fondo foro

La quota del fondo foro sarà misurata con scandaglio a filo graduato prima di ogni manovra di campionamento indisturbato e di prova penetrometrica dinamica SPT. Apposite manovre di pulizia saranno eseguite qualora la differenza tra quota raggiunta con la perforazione e quota misurata con scandaglio superi le seguenti tolleranze:

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

g.5) Campionamento in foro e prove geotecniche

In tutti i casi nei quali non ci sia pericolo di repentini collassi del foro nel tratto non rivestito, il prelievo di campioni in foro o l'esecuzione di prove penetrometriche dinamiche SPT dovrà seguire la manovra di perforazione con carotiere e invece precedere la manovra di rivestimento fino a fondo foro. Il rivestimento sarà, se necessario, eseguito a campionamento/prova SPT ultimati, in modo da evitare che il prelievo o la prova interessino uno strato di terreno disturbato dal fluido di perforazione.

g.6) Controllo della lunghezza delle batterie di aste

La lunghezza esatta delle batterie di aste inserite nel foro sarà misurata e riportata, a cura del Geologo responsabile delle operazioni, in una apposita tabella onde prevenire imprecisioni nella definizione delle profondità raggiunte.

### Fluidi di circolazione

Il fluido di circolazione nelle fasi di perforazione, qualora consentito, e di rivestimento, sarà costituito da:

- acqua;



- fanghi bentonitici;
- fanghi polimerici.

L'uso di sola acqua pulita è obbligatorio nel caso si debbano eseguire prove di permeabilità in foro.

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

L'Impresa Esecutrice potrà proporre l'uso di fluidi diversi dai sopra elencati, con la condizione che in ogni caso il fluido prescelto, oltre ad esercitare le funzioni di raffreddamento, lubrificazione, asportazione dei detriti ed eventuale sostentamento del foro, sia in grado di non pregiudicare la qualità del carotaggio, l'esito delle prove geotecniche ed il funzionamento della strumentazione e che, comunque, sia biodegradabile.

### **Descrizione stratigrafica del carotaggio**

Il Geologo responsabile del cantiere compilerà una scheda stratigrafica del sondaggio completa di tutte le indicazioni necessarie alla descrizione con criteri geotecnici del materiale carotato. La scheda stratigrafica deve comprendere tutte le informazioni generali necessarie per la completa comprensione di quanto eseguito. In particolare si specificheranno:

- date di perforazione;
- metodo di perforazione;
- attrezzature impiegate e installate;
- diametri di perforazione e di rivestimento;
- tipo di fluidi di circolazione impiegati;
- quota della testa foro rispetto al livello medio del mare e coordinate planimetriche;
- quota relativa e assoluta dell'eventuale falda;

- tipo, nome e profondità dei campionamenti eseguiti in foro di sondaggio .

La descrizione stratigrafica dettagliata sarà compilata in modo tale da specificare per ciascuno strato quanto relativo ai punti sotto elencati:

- tipo di terreno;
- condizioni di umidità naturale;
- consistenza;
- colore;
- struttura;
- particolarità;
- litologia ed origine.

La scheda stratigrafica comprenderà inoltre delle osservazioni in merito alla falda idrica, compatibilmente con le modalità esecutive del sondaggio e con la strumentazione installata, con l'annotazione delle letture del livello piezometrico nel foro di sondaggio rilevate all' inizio ed alla fine di ogni giornata lavorativa, annotando l'ora di misurazione.

Le modalità di descrizione di seguito illustrate riguardano sia le terre sciolte che le rocce, includendo i termini transizionali intermedi. E' da precisare che le descrizioni di primo approccio sotto riportate riguardano la stratigrafia di sondaggi e di trincee.

#### i.1) Tipo di terreno

Le caratteristiche granulometriche del terreno saranno definite con riferimento alla terminologia sotto riportata.

Definizione		Diametro dei grani (mm)	Criteri di identificazione
Blocchi		$> 200$	Visibili a occhio nudo
Ciottoli		$200 \div 60$	
Ghiaia	grossa	$60 \div 20$	
	media	$20 \div 6$	
	fine	$6 \div 2$	
Sabbia	grossa	$2 \div 0.6$	
	media	$0.6 \div 0.2$	
	fine	$0.2 \div 0.06$	
Limo		$0.06 \div 0.002$	Solo se grossolano è visibile a occhio nudo - poco plastico, dilatante, lievemente granulare al tatto - si disgrega velocemente in acqua - si essicca velocemente - possiede coesione ma può essere polverizzato fra le dita
Argilla		$< 0.002$	I frammenti asciutti possono essere rotti ma non polverizzati fra le dita - si disgrega in acqua lentamente - liscia al tatto - plastica - non dilatante - appiccica le dita - asciuga lentamente - si ritira durante l'essiccazione
Terreno organico o vegetale			Contiene una rilevante percentuale di sostanze organiche vegetali
Torba			Predominano resti lignei non mineralizzati, colore scuro, bassa densità

La struttura della descrizione sarà conforme alle raccomandazioni AGI (2005), elencando per primo il nome del costituente principale, seguito dal costituente secondario nella forma:

- ✓ preceduto dalla congiunzione “con” se rappresenta una percentuale compresa fra il 25 ed il 50%;
- ✓ seguito dal suffisso “oso” se rappresenta una percentuale compresa fra il 10 ed il 25%;
- ✓ preceduto da “debolmente” e seguito dal suffisso “oso” se rappresenta una percentuale compresa fra il 5 ed il 10%.

Della frazione ghiaiosa e ciottolosa occorre specificare il grado di arrotondamento, con riferimento ai sottoelencati termini comparativi:

Angolare :	Nessun smussamento.
Sub angolare :	Mantiene forma originale con evidenze di smussamento.
Sub arrotondata :	Smussamento considerevole e riduzione dell'area di superficie del clasto
Arrotondata :	Rimozione delle superfici originali, con qualche superficie piatta.
Ben arrotondata :	Superficie interamente compresa da curve ben arrotondate.

Si deve anche specificare il diametro massimo della ghiaia e quello dei ciottoli e dei blocchi e precisare il grado di uniformità della composizione granulometrica.

i.2) Condizioni di umidità naturale

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

- ✓ asciutto;

- ✓ debolmente umido;
- ✓ umido;
- ✓ molto umido;
- ✓ saturo.

Si dovrà descrivere la condizione propria del terreno naturale, escludendo quanto indotto dalla circolazione di fluido connesso alle modalità di perforazione adottate.

i.3) Consistenza

Si distinguono terreni coesivi e semicoesivi, granulari e rocciosi.

La consistenza dei terreni coesivi e semicoesivi sarà descritta come di seguito misurando anche la resistenza al penetrometro tascabile sulla carota appena estratta e scortecciata con frequenza di 1 prova ogni 20 ÷ 30 cm, purché il materiale non sia evidentemente disturbato.

Privo di consistenza:	espelle acqua quando strizzato fra le dita ( $< 0,25 \text{ Kg/cm}^2$ ).
Poco consistente:	si modella fra le dita con poco sforzo; si scava facilmente ( $0,25 \div 0,50 \text{ Kg/cm}^2$ )
Moderatamente consistente:	si modella fra le dita con un certo sforzo. Offre una certa resistenza allo scavo ( $0,50 \div 1,00 \text{ Kg/cm}^2$ ).
Consistente:	non si modella fra le dita; è difficile da scavare ( $1,00 \div 2,00 \text{ Kg/cm}^2$ )..
Molto consistente:	è molto resistente fra le dita e si scava con molta difficoltà ( $> 2,00 \text{ Kg/cm}^2$ ).

Nel caso di terreni granulari si esprimerà la consistenza in termini di addensamento, come di seguito: NSPT.

0 ÷ 4	Sciolto	Si scava facilmente con un badile
4 ÷ 10	Poco addensato	Si scava abbastanza facilmente con badile e si penetra con una barra
10 ÷ 30	Moderatamente addensato	Difficile da scavare con badile o da penetrare con barra
30 ÷ 50	Addensato	Molto difficile da penetrare; si scava con piccone
> 50	Molto addensato	Difficile da scavare con piccone.

Nel caso di terreni rocciosi, si determinerà la percentuale di recupero modificata (RQD) che è data dal rapporto in percentuale tra la somma delle singole lunghezze dei pezzi di carota maggiori di 10cm e la lunghezza totale del tratto perforato.

$$RQD = (\sum l_i / l_t) * 100$$

Dove:

“ $l_i$ ” rappresenta la lunghezza dei pezzi di carota superiori ai 10cm;

“ $l_t$ ” rappresenta la lunghezza totale del tratto perforato

RQD (%)	Grado di fratturazione	Qualità della roccia
< 25	Molto elevato	Molto scadente
25÷50	Elevato	Scadente
50÷75	Medio	Discreta
75÷90	Debole	Buona
90÷100	Quasi nullo	Eccellente

A necessario completamento della descrizione della consistenza per terreni

rocciosi, si definirà il grado di alterazione con riferimento alla seguente terminologia:

Assente	Nessun segno visibile di alterazione, roccia sana , cristalli lucenti.
Debole	I piani di discontinuità sono patinati e decolorati, con possibili sottili strati di riempimento. La decolorazione può penetrare nella roccia per spessori fino al 20% della spaziatura dei piani di discontinuità.
Media	La decolorazione penetra nella roccia per spessori superiori al 20% della spaziatura dei piani di discontinuità, che possono contenere riempimenti di materiale alterato. Possono essere osservabili parziali aperture dei legami intergranulari.
Elevata	La decolorazione interessa per intero la roccia, che è in parte friabile. L'originale struttura della roccia è conservata, ma i cristalli sono separati fra di loro.
Intensa	La roccia è completamente decolorata, decomposta e friabile, con l'aspetto esteriore di un suolo. Intimamente la struttura originale può essere riconoscibile, ma la separazione fra i cristalli è completa.

i.4) Colore

Il colore sarà descritto scegliendo o combinando i seguenti termini, quali rosa, rosso, viola, arancione, giallo, marrone, verde, grigio, nero, precisando, se necessario, la tonalità e l'intensità. Si distinguerà il colore del terreno intatto e quello delle superfici di separazione (fratture, discontinuità), evidenziando ciò che può dare indicazioni sulla presenza di filtrazione idrica.

i.5) Struttura

Si definiranno gli elementi significativi della struttura di terreni rocciosi e non rocciosi, intendendo con struttura la presenza o l'assenza di discontinuità, con riferimento a quanto di seguito:

- ✓ Stratificazione

Si indicheranno i piani di strato visibili con l'inclinazione e l'orientazione, precisandone la spaziatura media e l'intervallo di variazione tipico degli spessori degli strati stessi.

Si indicheranno anche la presenza di eventuali strutture sedimentarie, quali stratificazione o laminazione incrociata.

Regolari alternanze di diversi tipi litologici (es.: sabbie ed argille, marne e calcareniti) potranno essere definite con il termine di "interstratificazione" precisando la media aritmetica dello spessore dei livelli e descrivendo il ritmo delle alternanze.

✓ Fratturazione

Si indicherà la spaziatura dei giunti utilizzando definizioni in accordo alla terminologia utilizzata nelle classificazioni comprovata affidabilità e riconosciute.

Si specificherà, se possibile, l'apertura e il materiale (se presente) di riempimento e la persistenza dei giunti.

✓ Scistosità, piani di taglio

Si indicherà la presenza, la spaziatura e le caratteristiche della scistosità (orientazione visiva della roccia dovuta a minerali lamellari o prismatici) e la presenza di piani di taglio.

✓ Strutture particolari

Si indicherà la presenza e le caratteristiche di strutture particolari legate a processi di alterazione o trasporto, quali la presenza di clasti in matrice soffice o isole di materiale poco alterato in matrice profondamente alterata, e simili.

i.6) Particolarità aggiuntive

Si dovranno indicare tutte le caratteristiche significative ai fini della



schematizzazione geotecnica le quali non siano già inserite in qualcuno dei parametri descrittivi già elencati.

Si segnali a titolo di esempio la presenza di quanto segue:

- ✓ radici;
- ✓ manufatti, riporti, materiali di discarica;
- ✓ fossili o residui organici vegetali;
- ✓ sostanze deperibili, friabili, solubili;
- ✓ cementazione più o meno regolare e relativo grado.

#### i.7) Litologia ed origine

Il tipo litologico sarà definito nel caso dei clasti di terreni granulari grossolani e nel caso di terreni da semi-litoidi a rocciosi.

Sarà cura del Geologo responsabile di cantiere indicare, sia pure per categorie principali, la corretta definizione, indicando per le rocce sedimentarie, intrusive, effusive e metamorfiche la tipologia litologica di appartenenza nei limiti di quanto desumibile dalla sola osservazione macroscopica di campagna del materiale.

Nel caso di terreni sedimentari, si raccomanda l'impiego di una soluzione acquosa diluita al 5% di HCl per la orientativa definizione della presenza di  $\text{CaCO}_3$ , come costituente principale o secondario della roccia.

Oltre al tipo litologico, quando riconoscibile, potranno essere precisate, per tutti i terreni, informazioni sull'origine del terreno, distinguendo in modo particolare:

- ✓ terreni derivati da trasporto e sedimentazione dei materiali; terreni eluviali; terreni alluvionali; deposito di frana;
- ✓ terreni rimasti in sito, specificando se riconoscibili azioni fisico chimiche

di alterazione, sostituzione, cementazione.

**i.8) Altre registrazioni in corso di perforazione**

Oltre alla registrazione della stratigrafia, il Geologo responsabile di cantiere annoterà sinteticamente, nella documentazione del lavoro, ogni notizia utile o interessante:

- ✓ percentuale di recupero (carotaggio);
- ✓ velocità di avanzamento;
- ✓ perdite di fluido di circolazione;
- ✓ rifluimenti in colonna;
- ✓ presenza di terreno antropico contaminato e/o rifiuti interrati;
- ✓ manovre di campionamento o prova non condotte a termine;
- ✓ altre eventuali.
- ✓ In alcuni casi potrà essere richiesta la registrazione continua dei parametri di perforazione (pressione di spinta, velocità di avanzamento, deviazione dalla verticale, portata e pressione degli eventuali fluidi di perforazione, ecc.).

**i.9) Rilievo della falda**

Nel corso della perforazione verrà rilevato in forma sistematica il livello della falda nel foro. Le misure verranno eseguite in particolare ogni mattina e ogni sera, prima di riprendere il lavoro, con annotazione di quanto segue:

- ✓ livello acqua nel foro rispetto al p.c.;
- ✓ quota del fondo foro;
- ✓ quota della scarpa del rivestimento;

- ✓ data ed ora della misura.

Tali annotazioni devono comparire anche nella documentazione definitiva del lavoro.

i.10) Cassette catalogatrici

Le carote estratte nel corso della perforazione verranno sistemate in apposite cassette catalogatrici in legno o pvc, munite di scomparti divisori e coperchio. Sul fondo delle cassette sarà posto un foglio di plastica di dimensioni tali da potere essere rivoltato a protezione delle carote alloggiate. La lunghezza totale degli scomparti di ciascuna cassetta non deve essere inferiore a 4 m. Le carote coesive verranno scortecciate, le lapidee lavate. Dei setti separatori suddivideranno i recuperi delle singole manovre, recando indicate le quote rispetto al p.c.. Negli scomparti saranno inseriti blocchetti di legno o simili a testimoniare gli spezzoni di carota prelevati ed asportati per il laboratorio con le quote di inizio e fine di tali prelievi.

i.11) Fotografie a colori

Le singole cassette verranno fotografate entro 12 ore dal loro completamento. Si richiede la completa leggibilità di tutte le indicazioni esistenti sulla cassetta ed una visione chiara delle carote contenute; si consiglia quindi una foto presa dall'alto e scattata da una distanza non superiore a 2 m. e 3 copie delle fotografie verranno allegate alla documentazione di lavoro. Ogni foto dovrà contenere una tabella di riferimento cromatico, nome del sondaggio a cui fa riferimento, profondità interessata della cassetta catalogatrice, committente, luogo di esecuzione del sondaggio.

i.12) Riempimento dei fori di sondaggio con miscele cementizie. In caso di abbandono del foro (foro non strumentato) o di parte di esso (tratto da isolare rispetto al resto del foro ad esempio nella posa dei piezometri Casagrande) il tratto abbandonato dovrà essere accuratamente cementato.

Il foro di sondaggio sarà 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.

La stessa composizione della miscela dovrà essere impiegata per la cementazione di strumentazione di monitoraggio (ad es. inclinometri) qualora necessaria.

### **5.1.2 Fori verticali a distruzione di nucleo**

#### **Premessa**

I fori verticali a distruzione di nucleo saranno realizzati per permettere, entro gli stessi, l'esecuzione di prove e/o l'installazione di strumenti di vario genere e tipo. La loro realizzazione dovrà quindi essere sempre eseguita tenendo conto di quanto prescritto per le prove o per gli strumenti per cui il foro è realizzato. Potranno essere richiesti anche per la perforazione di prefori in appoggio a preparazioni di altre prove in sito, quali prove penetrometriche statiche, prove dilatometriche e similari.

#### **Attrezzatura di perforazione**

- Sonda a rotazione completa di pompa per la circolazione dei fluidi di perforazione e dispositivi atti alla loro preparazione ed al loro recupero e smaltimento.

Altre sonde proposte dalla Ditta Esecutrice, il cui utilizzo sarà preventivamente comunicato alla Direzione Lavori.

### **Utensili di perforazione**

- Triconi, trilama o utensili a distruzione dotati di fori radiali per la fuoriuscita del fluido in caso di terreno; rotopercussione in caso di ghiaia, ciottoli o roccia.

Altri utensili proposti dalla Ditta Esecutrice il cui utilizzo sarà preventivamente comunicato alla Direzione Lavori.

Il diametro di perforazione sarà di 70 ÷ 150 mm; il diametro sarà comunque definito in funzione delle prove da eseguire o degli strumenti da installare nel foro.

### **Modalità di perforazione**

Sono ammesse modalità di perforazione varie, comunque tali da garantire il sostentamento delle pareti del foro, il contenimento del fondo foro e la minimizzazione dei disturbi arrecati al terreno nei tratti di prova.

Sarà preferibile in ogni caso impiegare metodi di perforazione rivestita, ovvero con utensile disgregatore e rivestimento a seguire.

### **Documentazione**

Per ciascun foro si compilerà una scheda con le seguenti indicazioni:

- informazioni generali e monografia del sito di indagine;
- quota assoluta e ubicazione con GPS del punto di indagine;
- quota assoluta e relativa della presenza di falda;
- nominativo del compilatore e dell'esecutore della prova;
- attrezzatura impiegata;
- diametro di perforazione;
- diametro dell'eventuale rivestimento;
- dati relativi alle prove o all'installazione;

- stratigrafia approssimativa in base ai detriti (cutting) di perforazione;
- parametri di perforazione.
- 

### **5.1.3 Campionamento geotecnico nei sondaggi**

#### **Premessa**

Le modalità di campionamento distinguono i seguenti tipi di campione, sono individuate 5 classi di qualità, dove per le caratteristiche, attività e le prescrizioni tecniche si farà riferimento alle specifiche AGI (1977 - § 3) e alle specifiche ANISIG ([www.anisig.it](http://www.anisig.it); doc. “56303\_documento\_6”). Inoltre, per le analisi delle caratteristiche fisiche e meccaniche i campioni dovranno essere inviati al laboratorio entro 24 ÷ 48 ore dal loro campionamento.

In base al grado di disturbo che i campioni presentano, ovvero in base alla quantità di informazioni geotecniche che da essi si possono ricavare, i campioni sono classificati, in linea generale, come segue:

- a.1) “rimaneggiato”, raccolto tra il materiale ricavato dal carotaggio di qualsiasi composizione e riposto in cassetta catalogatrice;
- a.2) “indisturbato”, prelevato con campionatore a pistone, fune, rotativo, wireline in terreni coesivi e semicoesivi, dovrà essere specificato il tipo di campionatore usato;
- a.3) “spezzoni di carota lapidea” prelevati dal carotaggio in terreni rocciosi.

I campioni a.1), a.2) devono assicurare una rappresentazione, il più fedele possibile, della distribuzione granulometrica e delle caratteristiche fisico meccaniche in sito del terreno; i campioni a.2), a.3) non devono subire deformazioni strutturali rilevanti conservando inalterati:

- ✓ contenuto d'acqua (solo a.2);

- ✓ peso di volume apparente;
- ✓ deformabilità;
- ✓ resistenza al taglio.

### **Indicazioni del campione**

I campioni devono essere contraddistinti da cartellini inalterabili, che indichino:

- 2) cantiere;
- 3) numero del sondaggio;
- 4) numero del campione;
- 5) profondità di prelievo;
- 6) tipo di campionatore impiegato;
- 7) tipo di campione prelevato;
- 8) data di prelievo;
- 9) parte alta (per campioni indisturbati e spezzoni di carota). Il numero del campione, il tipo di campionatore usato ed il metodo di prelievo devono essere riportati sulla stratigrafia alla relativa quota; questi dati devono essere riportati anche nel caso di prelievi non riusciti;
- 10) le due estremità dei campioni indisturbati devono essere sigillate subito dopo il prelievo con uno strato di paraffina fusa e tappo di protezione.

### **Campioni rimaneggiati**

Il campioni rimaneggiati verranno prelevati dal materiale recuperato con il carotaggio e sigillati in sacchetti o barattoli di vetro; la quantità necessaria per le prove di laboratorio è di circa 500 grammi per i terreni fini e di circa 5 Kg per quelli grossolani. Nella scelta si avrà cura di eliminare le parti di campione alterate dall'azione del carotiere (corteccia, parti “bruciate”, tratti dilavati, ecc.) e

materiale di natura antropica.

### Campioni indisturbati

I campionatori da utilizzarsi impiegano la fustella a pareti sottili in acciaio inox, nel rispetto dei seguenti parametri dimensionali:

- rapporto  $L/D_i \approx 8$
- rapporto delle aree:

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

- coefficiente di spoglia interna:

$$c_i = \frac{D_i - D}{D} \cdot 100 = 0.0 \div 1.0 \quad \text{secondo necessità}$$

- diametro utile  $> 85 \text{ mm}$

$L$  = lunghezza utile della fustella

$D_i$  = diametro interno della fustella

$D_{est}$  = diametro esterno della fustella

$D$  = diametro all'imboccatura della fustella

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

- ✓ campionatore a pistone infisso idraulicamente;
- ✓ campionatore a fune, con infissione meccanica del pistone;
- ✓ campionatore rotativo a pareti sottili;
- ✓ campionatore con la tecnica Wireline;



- ✓ altri campionatori (il cui utilizzo sarà preventivamente comunicato alla Direzione Lavori).

Il campionatore ad infissione idraulica del pistone può essere utilizzato con profitto in terreni coesivi aventi resistenza al taglio  $\leq 200 \text{ kN/m}^2$ , in relazione alla potenza della pompa utilizzata; funziona bene anche in sabbie mediamente addensate. L'Impresa Esecutrice sarà tenuta ad averlo in cantiere ed utilizzarlo ove necessario. I campionatori a pistone dovranno 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.

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, con fluido in circolazione. Nel campionatore rotativo, la sporgenza della fustella dal carotiere esterno può essere regolata a priori fra 0.5 e 3 cm, ma deve poi rimanere costante durante ciascun prelievo.

Altri tipi di campionatore potranno essere utilizzati dall'Impresa Esecutrice informando preventivamente la Direzione Lavori.

L'infissione del campionatore dovrà sempre avvenire in un'unica tratta e senza interruzioni.

Il prelievo di campioni indisturbati dovrà seguire la manovra di perforazione e precedere quella di rivestimento a quota; nel caso l'autosostentamento del foro nel tratto scoperto non esista, anche per il breve lasso di tempo necessario al prelievo, si rivestirà prima di campionare avendo cura di fermare l'estremità inferiore del rivestimento metallico provvisorio  $0.2 \div 0.5\text{m}$  più alta della quota di inizio prelievo, ripulendo quindi il fondo del foro.

Si dovrà, inoltre, evitare qualsiasi eccesso di pressione nel fluido di perforazione nella fase di installazione dei rivestimenti. A tal fine, la

pressione del fluido a testa foro dovrà essere controllabile in ogni istante attraverso un manometro di basso fondo scala (10 bar), da escludersi nelle fasi di campionamento con infissione idraulica della fustella, ove sono necessarie pressioni maggiori.

In generale, in argille in cui la resistenza al pocket penetrometer è indicativamente minore di 150 kPa (1,5 kg/cmq) è consigliabile impiegare il campionatore tipo Osterberg a pistone, con fustella in acciaio inox a pareti sottili di diametro 88,9 o 101 mm; le caratteristiche geometriche della fustella sono normate nelle specifiche AGI.

In alternativa potrà essere prelevato un campione con campionatore tipo Shelby, preferibilmente con pistone) avendo estrema cura che il fondo del foro sia pulito dai detriti di perforazione.

In nessun caso (anche terreni compatti) il campionatore dovrà essere ruotato o battuto, salvo in argille molto compatte dove è ammesso l'uso di un campionatore rotativo a pareti sottili (Craps) o di un campionatore tipo Denison che permettono la rotazione della parete esterna (per disgregare il materiale) senza rotazione della parte interna (fustella).

In sabbie non è possibile prelevare campioni indisturbati se non impiegando con molta cautela un carotiere wireline a tripla parete (con liner in PVC); in questo caso la carota contenuta nel liner (quindi non estrusa dopo la manovra di carotaggio) può essere considerata un campione "a disturbo limitato" tipo Denison in terreni non campionabili con Osterberg o Shelby (sabbie, limi compatti, argille sovraconsolidate, terreni "misti", ecc).

In alternativa per ottenere campioni di eccellente qualità in sabbia sarà possibile impiegare il campionatore "Geol-Pusher"

## **Imballaggio e trasporto dei campioni**

I campioni destinati al laboratorio saranno sistemati in cassette con adeguati separatori ed imbottiture alle estremità, onde assorbire le inevitabili vibrazioni del trasporto.

Le cassette andranno collocate in un locale idoneo a proteggerle dal sole, dalle intemperie e dalle escursioni termiche, fino al momento della spedizione.

Le cassette dovranno contenere un massimo di 6 fustelle, onde facilitarne il maneggio; saranno dotate di coperchio e maniglie. Sul coperchio si indicherà la parte alta.

Il trasporto verrà effettuato con tutte le precauzioni necessarie per evitare il danneggiamento dei campioni, sotto la diretta responsabilità dell'Impresa Esecutrice.

### **5.1.4 Prove di penetrazione dinamica SPT (Standard Penetration Test)**

#### **Normativa di riferimento**

La prova SPT è stata standardizzata dalle seguenti norme:

A.G.I. - Associazione Geotecnica Italiana (1977). Raccomandazioni sulla Programmazione ed Esecuzione delle Indagini Geotecniche.

A.S.T.M. - D1586-67(74); D1586-84. Standard Method for Penetration Test and Split-Barrel Sampling of Soils.

Specifiche ANISIG (Associazione Nazionale Imprese specializzate in Indagini Geognostiche – [www.anisig.it](http://www.anisig.it)) doc. “56303\_documento\_6.

ISSMFE Techn. Committee (1988). Standard Penetration Test (SPT): International Reference Test Procedure.

Dal momento che le sopracitate norme differiscono fra loro per alcuni aspetti minori relativi alle attrezzature ed alle modalità esecutive, si richiede che

L'Impresa Esecutrice si attenga a quanto di seguito specificato.

La prova SPT dovrà essere sempre eseguita con punta aperta (campionatore Raymond, apribile) in tutti i tipi di terreno sciolto (quindi non rocce) ad eccezione di sabbie molto dense con ghiaia, ghiaie grosse, ciottoli, ghiaie cementate, nei quali è ammesso l'uso di una punta conica (punta chiusa) in alternativa a quella aperta. La prova SPT è di difficile e dubbia interpretabilità nelle argille e limi, pertanto non deve essere eseguita in tali strati.

### Attrezzatura

Le attrezzature da impiegarsi avranno le seguenti caratteristiche:

#### Campionatore raymond

Tubo campionatore "Raymond" in acciaio indurito con superfici lisce, apribile longitudinalmente.

Diametro esterno	$\varnothing_{\text{est}} = 51 \pm 1 \text{ mm}$
Diametro interno	$\varnothing_{\text{int}} = 35 \pm 1 \text{ mm}$
Lunghezza minima escluso tagliente principale	$L_{\text{min}} > 457 \text{ mm}$
Lunghezza scarpa tagliente terminale, con rastremazione negli ultimi 19 mm	$l = 76 \pm 1 \text{ mm}$

Il campionatore sarà dotato di valvola a sfera e aperture di scarico a sfiato. Non è prevista la dotazione di punta conica per la sostituzione del tagliente terminale.

#### Aste

Dovranno essere necessariamente impiegate aste standard (secondo le norme sopra citate) di diametro 50 mm, preferibilmente con centratori per profondità superiori a 15÷20 m; non sono ammesse in alcun caso aste di diametro diverso da quello standard.

### Dispositivo di battitura

Dispositivo di sollevamento automatico del maglio tale da garantire la caduta della massa battente senza rilevanti attriti.

Peso massa battente  $P = 63,5 \pm 0,5 \text{ Kg}$

Altezza caduta  $h = 750 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$

### Modalità esecutive

La prova si eseguirà infiggendo nel terreno alla base del sondaggio il campionatore per tre tratti consecutivi, di 150 mm ciascuno, annotando il numero di colpi necessari per la penetrazione di ogni tratto.

Le fasi da seguire sono le seguenti:

- Controllo con scandaglio della quota del fondo foro confrontandola con quella raggiunta con la manovra di perforazione o di pulizia precedentemente fatta. Potrà risultare dal controllo che la quota misurata sia più alta, per effetto di rifluimenti del fondo o per decantazione di detriti in sospensione nel fluido.
- Se tale differenza supera 7cm la prova non potrà essere eseguita; si dovrà pertanto procedere ad una ulteriore manovra di pulizia.
- Posizionamento a fondo foro la batteria di prova. La quota di inizio della prova SPT dovrà corrispondere a quella misurata mediante il controllo di cui sopra che potrà coincidere con quella di perforazione o pulizia, ma potrà essere anche (fino a 7 cm) superiore; l'eventuale affondamento del campionatore, per peso proprio e delle aste, dovrà essere annotato.
- Infissione preliminare di 150 mm, contando ed annotando il numero di colpi di maglio, fino ad un massimo di 50 colpi.
- Infissione del tratto di 300 mm, contando separatamente il numero di colpi relativo ai primi ed ai secondi 150 mm, fino ad un massimo di 100 colpi complessivi.

- Il rifiuto si considererà raggiunto quando, dopo l'infissione preliminare (che è pari a 150 mm o 50 colpi) si ottengono 100 colpi per un avanzamento minore o uguale a 300 mm; si dovrà annotare la lunghezza d'infissione corrispondere ai 100 colpi (in cm).
- Ad estrazione avvenuta il campione prelevato viene misurato, descritto, trascurando l'eventuale parte alta costituita da detriti, sigillato in contenitore adatto ed inviato al laboratorio.
- Nel caso di prove in terreni molto compatti o ricchi di ciottoli, l'Impresa Esecutrice potrà utilizzare una punta conica, dandone preventiva comunicazione alla Direzione Lavori.
- Normalmente il sistema SPT è di caratteristiche standard (maglio, supporto per il maglio, sistema di sganciamento automatico) ed ha un'efficienza nota pari a circa il 60% (in Italia) e le correlazioni tengono conto di questo dato; in caso di sistemi geometricamente o meccanicamente differenti da quello standard (SPT automatizzato, SPT a sgancio manuale, SPT wireline, ecc) dovrà essere opportunamente valutata e certificata l'efficienza.

## **Documentazione**

La documentazione preliminare e quella definitiva devono comprendere, oltre alle informazioni generali:

Per ciascuna prova eseguita:

- diametro e profondità della tubazione provvisoria di rivestimento del foro;
- profondità raggiunta con la manovra di perforazione o pulizia;
- profondità inizio prova;
- penetrazione, per peso proprio e delle aste, del campionatore;
- numero di colpi per l'infissione dei tratti preliminare e di prova (suddiviso in due parti da 150 mm);

- diametro e peso per metro lineare delle aste impiegate;
- lunghezza e descrizione geotecnica del campione estratto;
- tipo di campionatore (aperto o chiuso) impiegato.

Per ciascuna verticale indagata:

- grafico NSPT in funzione della profondità.

### **5.1.5 Prove penetrometriche statiche di tipo meccanico CPT (Cone Penetration Test)**

#### **Normativa di riferimento**

- AGI - Associazione Geotecnica Italiana (1977). Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche
- ASTM D3441 - 86 "Deep, quasi-static, cone and friction cone penetration tests of soil".

L'attrezzatura di prova e le modalità esecutive saranno conformi a quanto specificato nel seguito.

L'Impresa Esecutrice potrà impiegare attrezzature con caratteristiche rispondenti ad una delle norme sopracitate.

#### **Attrezzatura**

La prova consisterà nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta conica di dimensioni e caratteristiche standard, infissa a velocità costante nel terreno tramite un dispositivo di spinta che agisce alternativamente su una batteria di aste esterna e su una interna, alla cui estremità inferiore è connessa la punta.

Il penetrometro statico da usarsi è il tipo Olandese a comando idraulico con spinta di 10 o 20 tonnellate (a seconda della profondità) munito di punta telescopica del tipo "Begemann" con manicotto per la misura dell'attrito laterale locale; alla base, il rivestimento è munito di anello allargatore, posto ad almeno 1 m di distanza

dalla punta, per diminuire l'attrito lungo tutta la batteria.

Le attrezzature richieste sono le seguenti:

### **Dispositivo di spinta**

Martinetto idraulico in grado di esercitare sulla duplice batteria di aste la spinta precisata nel programma delle indagini ( $100 \div 200$  kN). La corsa deve essere pari a 1 m. La velocità di infissione della batteria di aste sarà di 2 cm/s ( $\pm 0.5$  cm/s), costante nel corso della prova, indipendentemente dalla resistenza offerta dal terreno.

Il dispositivo di spinta deve essere ancorato e/o zavorrato in forma tale da poter usufruire per intero della propria capacità di spinta totale.

### **Punta conica**

Punta conica telescopica, che possa essere, entro certi limiti, infissa indipendentemente dalla batteria di aste esterne cave, con le seguenti dimensioni:

- diametro di base del cono: 37,5 mm
- angolo di apertura del cono:  $60^\circ$ .

L'attrezzatura permetterà la misura di:

- resistenza alla punta  $q_c$
- resistenza per attrito laterale  $f_s$ .

Il parametro  $f_s$  sarà relativo ad un manicotto con superficie laterale di  $150 \text{ cm}^2$ .

### **Aste**

Aste di tipo cavo, del diametro esterno di 36 mm.

Astine interne a sezione piena, di diametro inferiore di  $0.5 \div 1$  mm rispetto a quello interno delle aste cave.

Dispositivo di misura



Un manometro con fondo scala massimo da 100 Kg/cm<sup>2</sup> ed uno con fondo scala superiore, collegati in modo tale che il primo sia escluso automaticamente dal circuito oleodinamico in caso di pressioni troppo elevate.

La precisione di lettura deve essere contenuta entro i seguenti limiti massimi:

- 10% del valore misurato
- 2% del valore di fondo scala.
- In alternativa ai manometri potrà essere impiegata una cella di carico digitale.

### **Tarature e controlli**

Occorrerà verificare che all'interno delle aste cave, quando collegate fra loro, non ci siano sporgenze in corrispondenza della estremità filettata.

Le aste interne a sezione piena dovranno scorrere senza attriti all'interno delle aste cave.

I manometri o cella di carico del dispositivo di misura dovranno essere corredati da un certificato di taratura rilasciato da un laboratorio ufficiale, non anteriore a due mesi dall'inizio della prova.

La restituzione grafica e numerica delle prove CPT dovrà essere rigorosamente fatta tenendo conto dei valori di taratura come da certificato più recente.

Non sono ammessi grafici o tabelle riportanti i valori "letti" e non condizionati secondo la taratura del sistema.

### **Metodologia di prova**

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 per 4 cm fino ad esaurire l'intera corsa della punta e della punta + manicotto per ulteriori 4 cm, misurando la pressione di spinta nel primo e nel secondo caso; si faranno quindi avanzare le

aste esterne, fino alla chiusura della batteria telescopica, misurando ed annotando la pressione totale di spinta.

Le misure di  $q_c$  ed  $f_s$  saranno discontinue, con annotazione 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.

### **Documentazione**

La documentazione preliminare comprenderà:

- informazioni generali e monografia del sito di indagine;
- data di esecuzione;
- caratteristiche e dimensioni della punta;
- presenza della falda;
- fotocopia delle tabelle di cantiere, con indicazione dei fattori moltiplicativi di interpretazione delle letture.

La documentazione definitiva comprenderà:

- informazioni generali;
- data di esecuzione;
- grafici di  $q_c$  e  $f_s$  in funzione della profondità condizionati secondo la curva di taratura dello strumento di misura (manometri o cella di carico)
- quota assoluta del punto di prova;
- presenza della falda;
- certificati di taratura.

### **5.1.6 Prove penetrometriche statiche di tipo elettrico CPTE**

#### **Normativa di riferimento**

- AGI Associazione Geotecnica Italiana (1977). Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche
- ASTM D3441 - 86 "Deep, quasi-static, cone and friction cone penetration tests of soil".
- ISSMFE Technical Committee on Penetration Testing. Cone Penetration Testing (CPT): International Reference Test Procedure.

L'attrezzatura di prova e le modalità esecutive saranno conformi a quanto specificato nel seguito.

L'Impresa Esecutrice potrà impiegare attrezzature con caratteristiche rispondenti per intero ad una delle norme sopracitate.

#### **Attrezzatura**

La prova consisterà nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta conica di dimensioni e caratteristiche standard, infissa a velocità costante nel terreno mediante un dispositivo di spinta che agisce su una batteria di aste cave alla cui estremità inferiore è connessa la punta.

Le attrezzature richieste sono le seguenti:

#### **Dispositivo di spinta**

Martinetto idraulico in grado di esercitare sulla batteria di aste cave la spinta precisata nel programma delle indagini (10 ÷ 20 Tonnellate). La corsa deve essere pari a 1 m. La velocità di infissione della batteria di aste sarà di 2 cm/s ( $\pm 0.5$  cm/s), costante nel corso della prova, indipendentemente dalla resistenza offerta dal terreno.

Il dispositivo di spinta deve essere ancorato e/o zavorrato in forma tale da poter usufruire per intero della propria capacità di spinta totale.

## Punta conica

Punta conica fissa, interamente solidale con il movimento delle aste cave, avente le seguenti dimensioni:

- diametro di base del cono:  $\varnothing_{bc} = 34.8 \div 36.0 \text{ mm}$
- angolo di apertura del cono:  $60^\circ$ .

La punta permetterà la misura continua di:

- resistenza alla punta  $q_c$
- resistenza per attrito laterale  $f_s$

Il parametro  $f_s$  sarà relativo ad un manicotto di attrito liscio con le seguenti dimensioni:

- diametro  $\varnothing_{ma} = \varnothing_{bc} + 0.35 \text{ mm}$
- superficie laterale  $A_{ma} = 147 \div 153 \text{ cm}^2$ .

Il manicotto sarà posizionato subito sopra il cono.

La punta di tipo elettrico sarà strumentata con celle di carico estensimetriche per la misura di  $f_s$  e  $q_s$ , con i seguenti fondo scala:

- 500 kg per  $q_c$
- 75 kg per  $f_s$

Qualora necessario, la Direzione Lavori si riserva di richiedere l'uso di punte con sensibilità massima diversa. La punta sarà dotata di sensore inclinometrico per la misura della deviazione dalla verticale.

## Aste

Aste di tipo cavo, del diametro esterno di 36 mm.

Eventuali anelli allargatori dovranno essere posizionati ad almeno 1 m dalla base del cono.

## **Dispositivo di misura**

Oltre alle celle di carico estensimetriche della punta, saranno previsti: centralina elettronica per la ricezione e la trasmissione dei dati e interfaccia con computer sincronizzatore di velocità (depth transducer).

## **Tarature e controlli**

Oltre a 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 una punta penetrometrica dovranno essere ispezionate con regolarità per accettarne le perfette condizioni e l'assenza di particelle di terreno.

Le punte elettriche dovranno essere compensate 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 di fondo scala.

Tale precisione dovrà essere verificata in laboratorio e verificabile in cantiere. I dati di taratura relativi ad ogni punta dovranno essere sempre disponibili in cantiere e non antecedenti 6 mesi rispetto alla data di esecuzione della prova.

## **Metodologia di prova**

Il penetrometro dovrà essere posizionato opportunamente, in modo da garantire la verticalità della applicazione del carico.

E' opportuno che la taratura finale dei dispositivi di misura e registrazione avvenga dopo che i sensori della punta si siano equilibrati con la temperatura interna del terreno.

La prova sarà quindi eseguita fino alla profondità massima prevista dal programma delle indagini o interrotta per rifiuto in uno dei seguenti casi:

- raggiungimento del fondoscala per uno dei sensori relativi a resistenza  $q_c$ ,  $f_s$ ;
- raggiungimento della massima capacità di spinta del penetrometro (rifiuto);
- deviazione massima della punta della verticale di  $10^\circ$ , se repentina, o di  $15^\circ$  se progressiva.

### **Documentazione**

La documentazione preliminare comprenderà:

- informazioni generali;
- data di esecuzione;
- caratteristiche dell'attrezzatura;
- caratteristiche della punta;
- fotocopia dei grafici di cantiere, con indicazione delle scale.

La documentazione definitiva comprenderà:

- informazioni generali, con ubicazione e monografia del sito di indagine;
- data di esecuzione;
- grafici di  $q_c$  e  $f_s$ ; in funzione della profondità corretta in base ai dati inclinometrici;
- quota assoluta del punto di prova;
- certificati di taratura delle punte impiegate non anteriori a sei mesi.

### **5.1.7 Prove penetrometriche statiche con piezocono CPTU**

#### **Definizione**

- In tutte le punte elettriche i valori di resistenza del terreno vengono rilevati con degli estensimetri posti direttamente all'interno della punta. Questi estensimetri, con deformazioni meno che millimetriche dei componenti della punta (cono e manicotto), producono dei segnali elettrici proporzionali alle variazioni di carico e quindi alle componenti di resistenza del terreno. I segnali elettrici (analogici) vengono digitalizzati con convertitori direttamente posti all'interno della punta (digital cone) e vengono memorizzati in un circuito interno. Inoltre sono presenti almeno un pressostato per il rilievo delle sovrappressioni indotte dalla penetrazione della punta (U) e un doppio inclinometro per il rilievo in continuo della deviazione della batteria di aste durante l'infissione.

La prova con piezocono viene eseguita con una attrezzatura per prove penetrometriche statiche nella quale la punta elettrica è strumentata per la misura in forma continua di quanto sotto elencato:

- resistenza alla penetrazione statica  $q_c$  della punta conica e resistenza per attrito laterale  $f_s$ ;
- pressione idrostatica del terreno, inclusa la sovrappressione indotta dall'avanzamento della punta;
- dissipazione nel tempo della sovrappressione idrostatica indotta nel terreno, a quote predeterminate.
- A seconda della posizione del filtro la misura delle sovrappressioni si definisce come U1 (misura di U nella punta conica), U2 (misura di U alla base del cono), U3 (misura di U superiormente al manicotto).
- Nella maggioranza dei casi le punte in commercio sono del tipo "U2".

## Attrezzatura

La prova si eseguirà infiggendo a velocità costante nel terreno una punta conica tramite un dispositivo di spinta che agisce su una batteria di aste cave, alla cui estremità inferiore è connessa la punta.

Le attrezzature richieste sono le seguenti:

### b.1) Dispositivo di spinta

Martinetto idraulico in grado di esercitare sulla batteria di aste cave la spinta precisata nel programma delle indagini. La corsa deve essere pari a 1 m. La velocità di infissione della batteria di aste sarà di cm/s ( $\pm 0.5$  cm/s), costante nel corso della prova, indipendentemente dalla resistenza offerta dal terreno.

Il dispositivo di spinta deve essere ancorato e/o zavorrato in forma tale da poter usufruire per intero della propria capacità di spinta totale.

### b.2) Piezocono

Punta conica fissa, interamente solidale con il movimento delle aste cave, con le seguenti dimensioni:

- ✓ diametro di base del cono:  $\varnothing_{bc} = 34.8 \div 36.0$  mm
- ✓ angolo di apertura del cono:  $60^\circ$ .

La punta permetterà la misura di:

- ✓ resistenza alla punta  $q_c$
- ✓ resistenza per attrito laterale  $f_s$
- ✓ pressione interstiziale  $u + \Delta u$

Il parametro  $f_s$  sarà relativo ad un manicotto di attrito liscio con le seguenti dimensioni:



✓ diametro  $\varnothing_{ma} = \varnothing_{bc} + 0.35 \text{ mm}$

✓ superficie laterale  $A_{ma} = 147 \div 153 \text{ cm}^2$ .

Il manicotto sarà posizionato subito sopra il cono.

Il parametro  $u + \Delta u$  (pressione neutra + sovrappressione interstiziale indotta) sarà misurato con filtro poroso in metallo sinterizzato, posto alla base del cono (U2)

La punta di tipo elettrico sarà strumentata con celle di carico estensimetriche con i seguenti fondo scala:

✓ 500kg per  $q_c$

✓ 75 kg per  $f_s$

Qualora necessario, la Direzione Lavori si riserva di richiedere l'uso di punte con sensibilità massima diversa. La punta sarà dotata di sensore inclinometrico per la misura della deviazione dalla verticale.

Il trasduttore di pressione dovrà essere a piccola variazione di volume, con fondo scala proporzionale alla pressione idrostatica prevedibile alla quota di fine prova prevista in programma; la misurazione della pressione dovrà avvenire in forma continua.

La sostituzione del filtro deve essere eseguita ad ogni estrazione della punta dal terreno.

#### b.3) Aste

Aste di tipo cavo del diametro esterno di 36 mm.

Eventuali anelli allargatori dovranno essere posizionati ad almeno 100 cm dalla base del cono.

#### b.4) Dispositivo di misura

Oltre alle celle di carico estensimetriche della punta saranno previsti:

- ✓ centralina elettronica per la ricezione, conversione in digitale e la trasmissione dei dati al computer
- ✓ visore per la lettura istantanea dei valori delle grandezze misurate, in forma digitale
- ✓ depth transducer.
- ✓ Sono ammessi anche piezoconi digitali con memoria, nel caso non si debbano eseguire prove di dissipazione.

**b.5)           Attrezzature di disaerazione**

Filtro poroso e cono dovranno essere perfettamente disaerati :

- ✓ cella di disaerazione sottovuoto con olio di silicone; disaerazione con immersione di filtro e cono per un periodo di tempo sufficientemente lungo, in funzione del tipo di filtro (2÷3 giorni prima della prova)
- ✓ contenitore sottovuoto con olio di silicone e pompa a vuoto

Altre attrezzature, tipi di fluido (ad esempio Slot Filter saturato con grasso siliconico) e tecniche potranno essere proposti dall'Impresa Esecutrice dandone preventiva comunicazione alla Direzione Lavori.

**b.6)           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 di 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.

#### Operazioni preliminari, tarature e controlli

##### c.1) Montaggio del piezocono

Il filtro in metallo sinterizzato sarà montato nel piezocono immerso in un apposito contenitore nel quale sarà sempre presente olio di silicone disareato.

##### c.2) Preforo

L'intervallo di profondità compreso fra il piano campagna e la superficie freatica (almeno 1 metro) dovrà essere preforato con puntazza od eventuale sonda a rotazione, inserendo se necessario nel foro un tubo in PVC (o simili) del diametro interno  $\varnothing \geq 50$  mm.

##### c.3) Stabilizzazione termica

Prima di iniziare la prova, la punta dovrà essere inserita nel preforo, in acqua di falda, e lasciata ferma per 1 minuto primo 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 fare parte integrante della documentazione provvisoria e definitiva della prova.

### **Metodologia di prova**

Il penetrometro dovrà essere posizionato opportunamente in modo da garantire la verticalità dell'applicazione del carico.

La prova si inizierà alla base del tratto preforato, inserendo nel terreno il piezocono protetto dal guanto di gomma.

La prova sarà quindi eseguita fino alla profondità definita dal programma delle indagini, o interrotta per rifiuto in uno dei seguenti casi:

- raggiungimento del fondo scala per uno dei sensori relativi a resistenza  $q_c$ ,  $f_s$  o pressione interstiziale;
- raggiungimento della massima capacità di spinta del penetrometro;
- deviazione della punta della verticale di  $10^\circ$ , se repentina, o di  $15^\circ$  se progressiva.

Nel caso di rifiuto potrà essere richiesta la ripresa della prova dopo preforo a quota maggiore di 1 m rispetto a quella della interruzione della prova. Alle quote indicate dal programma si eseguiranno le prove di dissipazione operando come di seguito:

- arresto della penetrazione della punta;
- scatto contemporaneo del contasecondi e inizio della registrazione della variazione di pressione interstiziale;
- lettura al visore digitale dell'andamento della pressione interstiziale ai tempi 0.1 - 0.25 - 0.5 - 1 - 2 - 4 - 8 - 15 - 30 minuti primi; le letture saranno automatiche

La prova sarà considerata conclusa al 60% della dissipazione della sovrappressione indotta dalla punta, comunque non inferiore al 50%

## Documentazione

La documentazione preliminare comprenderà:

- informazioni generali;
- data di esecuzione;
- caratteristiche dell'attrezzatura;
- caratteristiche del piezocono;
- fotocopia dei grafici di cantiere con indicazione delle scale.

La documentazione definitiva comprenderà:

- informazioni generali, con ubicazione e monografia del sito di indagine;
- data di esecuzione;
- grafici di  $q_c$ ,  $f_s$ ,  $u + \Delta u$  in funzione della profondità corretta in base ai dati inclinometrici ed alle eventuali derive; i grafici relativi alle prove di dissipazione avranno i tempi in ascissa, in scala logaritmica;
- certificati di taratura dei piezoconi impiegati.

### 5.1.8 Prove con SISMOCONO

La prova permette di rilevare la velocità delle onde di taglio del terreno (shear wave velocity). In aggiunta al piezocono (come precedentemente descritto) il sismocono consiste in:

- dispositivo di energizzazione: in superficie la sorgente di onde consiste in un martello energizzatore strumentato, fissato a lato di un supporto che deve essere assolutamente solidale al terreno per permettere un'efficace trasmissione dell'energia in profondità;
- due geofoni montati sopra il piezocono standard;

- un oscilloscopio digitale collegato ai geofoni e all'energizzatore o in alternativa interfaccia collegata al computer.

La prova viene eseguita con le stesse modalità ed attrezzature di una CPTU (5.1.10), con l'aggiunta di un dispositivo di energizzazione: in superficie la sorgente di onde elastiche consiste in un martello energizzatore strumentato, fissato a lato di un supporto che deve essere assolutamente solidale con il terreno per permettere un'efficace trasmissione dell'energia in profondità. Si possono usare, a questo scopo, sia i dispositivi di ancoraggio che un tubo appositamente inserito nel terreno prima della prova..

Per la conduzione dell'attività e le prescrizioni tecniche si farà riferimento a:

- ASTM D3441-86, ASTM D5778, ASTM D7400,
- ISSMFE Technical Committee on Penetration Testings – Cone penetration Testing,
- Linee Guida per Indagini Geofisiche (A.S.G. Associazione Soc. Geofisica [www.associazionegeofisica.org](http://www.associazionegeofisica.org)).

### **5.1.9 Prove con dilatometro piatto tipo Marchetti DMT**

#### **Definizione**

La prova con dilatometro piatto utilizza un'attrezzatura di caratteristiche note, in quanto coperte da brevetto (Dilatometro Marchetti).

Consisterà nell'infiggere verticalmente nel terreno, mediante spinta di tipo statico uno strumento di prova a lama, espandendo con del gas in pressione una membrana circolare situata su di un lato dello strumento, misurando le pressioni corrispondenti a due livelli di deformazione predeterminati della membrana.

A differenza delle prove CPT/CPTU durante la prova DMT e SDMT NON è obbligatorio infiggere la punta a una velocità costante e standard.

Per la conduzione dell'attività e le prescrizioni tecniche si farà riferimento a:

- “Test Specifications DMT – Marchetti Flat Dilatometer – Marchetti Seismic Dilatometer ([www.marchetti-dmt.it](http://www.marchetti-dmt.it)),
- Specifiche ANISIG (Associazione Nazionale Imprese specializzate in Indagini Geognostiche – [www.anisig.it](http://www.anisig.it)) doc. “56303\_documento\_6.

## Attrezzatura

### b.1) Dispositivo di spinta

Può essere costituito da un penetrometro statico da  $100 \div 200$  kN 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  $2 \div 3$  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 sarà sempre interno alle aste  $\varnothing_{est}$  36 mm; potrà altrimenti uscire in corrispondenza del raccordo tra aste  $\varnothing_{est}$  36 mm e quelle di perforazione di diametro superiore, tramite apposito giunto spaccato longitudinalmente, per essere fissato all'esterno delle aste con del nastro adesivo.

### b.2) Attrezzatura originale Marchetti

- ✓ Dilatometro tipo Marchetti (10 x 2 x 2 cm), con membrana metallica laterale espandibile per 1 mm al centro.
- ✓ Centralina di misura tipo Marchetti.
- ✓ Cavo elettropneumatico di collegamento del dilatometro con la centralina.

L'attrezzatura dilatometrica sarà del tipo originale, coperta da brevetto, del tipo Marchetti, senza modifiche da parte dell'Impresa Esecutrice.

## Modalità di prova

### c.1) Accertamenti preliminari

Verificare che la lama di prova sia diritta, senza concavità o convessità  $> 0.5$  mm rispetto al piano di riferimento.

La lama sarà collegata alle aste in modo da contenere la deviazione dell'asse entro 0.2 mm. La membrana dovrà essere liscia e regolare, 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  $> 100$  kPa/min.

**c.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 soggette a 20 cicli di carico e scarico con pressioni comprese entro i limiti indicati dal costruttore prima di essere impiegate in prove reali.

La taratura della membrana dovrà essere eseguita di nuovo al termine delle prove oppure ogni 5 verticali di prova.

La prova sarà eseguita da personale in possesso del patentino di abilitazione rilasciato dal costruttore.

Il dilatometro sarà spinto verticalmente nel terreno arrestando la penetrazione ad intervalli di 20 cm per l'esecuzione delle misure.

Durante l'infissione il segnale acustico (o audiovisivo) sarà sempre attivato; la valvola di sfiato aperta.



Raggiunta la quota di prova ed arrestata l'infissione si scaricano da ogni pressione le aste entro 15 s, si invia gas alla membrana misurando, tramite la centralina elettropneumatica di superficie:

- ✓ la pressione alla quale la membrana inizia ad espandersi contro il terreno (lettura A), da rilevarsi entro 20 s dalla immissione del gas;
- ✓ la pressione necessaria per espandere di 1 mm il centro della membrana (lettura B), da rilevarsi entro 30 s dalla lettura A.

Se richiesto verrà anche misurato ed annotato il valore C della pressione che agisce sulla membrana quando, durante lo scarico del gas (dapprima immesso per ottenere le letture A e B) la membrana viene a trovarsi di nuovo nella posizione di riposo; il tempo di scarico deve essere compreso in non oltre 30 s e la centralina essere dotata di valvola di sfiato regolabile per il controllo graduale della deformazione.

## Documentazione

La documentazione della prova comprenderà:

- informazioni generali e monografia del sito di indagine;
- quota assoluta punto di prova;
- tabelle delle letture di cantiere;
- nominativo del responsabile;
- elaborazione delle letture in conformità ai criteri del costruttore (indice di materiale  $I_D$ , modulo  $M$ , resistenza al taglio).

### 5.1.10 Prove scissometriche in foro di sondaggio VT (Vane Test)

#### Normativa di riferimento

- ASTM D 2573/78 - Standard Method for "Field Vane Shear Test in Cohesive Soil".

- Specifiche ANISIG (Associazione Nazionale Imprese specializzate in Indagini Geognostiche – [www.anisig.it](http://www.anisig.it)) doc. “56303\_documento\_6,
- Specifiche AGI (“Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche” – 1977 – § 9.).

## Definizione

La prova scissometrica misura la resistenza al taglio non drenata dei terreni coesivi saturi; si esegue inserendo nel terreno naturale una paletta-scissometro con sezione a croce greca, misurando lo sforzo torsionale che occorre applicare per portare a rottura il terreno stesso.

La prova può essere eseguita con apparecchiature da calare sul fondo di un sondaggio o foro preparatorio oppure tramite l'uso di attrezzature autopercuotenti, in alternativa sulle carote di sondaggio con scissometro tascabile.

Lo scissometro digitale è simile in generale a quello meccanico ma il rilievo dello sforzo torsionale necessario alla rottura del terreno viene fatto impiegando celle di carico posizionate in profondità (a 50-100 cm) dalle palette anziché in superficie. Ciò permette di rilevare lo sforzo torsionale netto, depurato dagli effetti di resistenza torsionale delle aste, spesso non trascurabili.

## Attrezzatura

### c.1) Paletta-scissometro

Il dispositivo consiste in:

- Palette di caratteristiche geometriche standard (da 40 a 65 mm), la paletta più grande per terreni più soffici.
- Dispositivo di misura, dotato di memoria
- Batteria di aste interne Ø 20 mm e esterne di 32 mm
- Dispositivo di rotazione, con motore elettrico, collegato alla centralina

mediante sincronizzatore; la velocità di rotazione può essere settata tra 5 e 30 gradi al minuto

Al termine della prova, eseguita secondo modalità standard in termini di tempi e altro, viene recuperato il dispositivo di misura e scaricata la memoria nella centralina/computer. Questa provvede a sincronizzare i dati memorizzati in funzione del tempo con quelli in funzione dei gradi di rotazione, ottenendo così un grafico dello sforzo torsionale in funzione dei gradi di rotazione (analogamente alle prove CPTU in operazioni senza cavo).

E' preferibile quindi impiegare questa attrezzatura anziché quella convenzionale con rilievo degli sforzi in superficie qualora le prove siano di profondità superiore a 15-20 m.

Viceversa per prove poco profonde (fino a 10÷15 m) anche lo scissometro meccanico fornisce buoni risultati.

**c.2) Aste di collegamento**

Una batteria di aste d'acciaio collega la paletta con lo strumento di torsione in superficie.

Le aste debbono presentare elevate caratteristiche di rigidità alla torsione e flessione affinché gli sforzi applicati all'estremità superiore vengano trasmessi integralmente a quella inferiore, cioè alla paletta.

**c.3) Rivestimento**

La batteria di tubi metallici di rivestimento deve assolvere le seguenti funzioni:

- ✓ irrigidimento della batteria di aste; appositi anelli distanziatori saranno interposti fra le aste ed il rivestimento, ogni 3 m circa;
- ✓ reazione allo sforzo di torsione applicato in superficie;
- ✓ trasmissione della spinta verticale necessaria per infiggere tutto il

dispositivo alla profondità voluta.

c.4) 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 il terreno in corrispondenza della paletta alla rottura.

Lo strumento di torsione deve possedere i seguenti requisiti:

- ✓ impermeabilità all'acqua;
- ✓ sensibilità < di 1% dello sforzo massimo applicabile;
- ✓ indifferenza alle variazioni della temperatura ambiente.

**Modalità esecutive**

d.1) Prove con estrazione

- ✓ Prima di calare la batteria di aste con scissometro, si misurerà la quota di fondo foro con scandaglio a filo; se necessario, il fondo foro sarà ripulito con apposita manovra di perforazione con carotiere semplice (senza circolazione di fluido) o con attrezzo di lavaggio a fori radiali;
- ✓ si calerà quindi la batteria di prova, infiggendo la paletta-scissometro nel terreno senza applicare tensioni torsionali;
- ✓ si applicherà e si misurerà il momento torcente necessario per portare a rottura il terreno (resistenza al taglio di picco); dopo la rottura, si ruoterà per alcuni giri completi la paletta-scissometro, misurando il momento torcente applicato (resistenza al taglio residua);
- ✓ si estrarrà la batteria di prova per riprendere la perforazione.

**d.2) Prova senza continua estrazione**

- ✓ Le prove con attrezzatura autoperforante ridurranno il numero delle estrazioni della paletta-scissometro a 1 per 4 ÷ 5 m di avanzamento; dopo un massimo di 5 m consecutivi essa dovrà venire estratta, verificando quanto di seguito:
- ✓ assenza di distorsioni nel tratto inferiore della batteria di prova;
- ✓ assenza di attriti tra astine e tubi di protezione;
- ✓ ingrassatura dei cuscinetti reggispinta e dell'alloggio protettivo della paletta-scissometro.

Si richiede che una sonda di perforazione sia sempre disponibile, in appoggio alla batteria autoperforante, per manovre di perforazione ausiliari.

- ✓ L'esecuzione delle prove scissometriche sarà eseguita come descritto al paragrafo precedente, con misura della resistenza al taglio di picco e residua.

**Documentazione**

La documentazione preliminare e definitiva comprenderà quanto sottoelencato:

- informazioni generali sulla denominazione, quota, ubicazione e monografia della verticale di prova;
- tipo di attrezzatura impiegata e sue caratteristiche;
- certificato di taratura del dispositivo di torsione non anteriore di 2 mesi la data di esecuzione delle prove;
- profondità relativa di ciascun intervallo di prova;
- schema geometrico del foro, completo di dimensioni, quote di rivestimento metodi di pulizia, descrizione di eventuali tratti carotati;
- dimensioni della paletta-scissometro, per ciascuna prova;

- letture allo strumento di torsione e/o grafici sforzo/deformazione (nel caso di registrazione con centralina elettronica);
- note ed osservazioni degli operatori.

### **5.1.11 Perforazione con registrazione dei parametri di perforazione**

#### **Definizione**

Metodo che permette di registrare in forma continua i principali parametri della perforazione, eseguita di norma a distruzione di nucleo, con il fine di riconoscere le caratteristiche stratigrafiche fondamentali del terreno, preferibilmente a partire da situazioni rese note dall'esecuzione di sondaggi di taratura.

#### **Attrezzatura**

- sonda a rotazione e rotopercolazione;
- centralina elettronica per la misura, l'amplificazione e la registrazione su supporto digitale dei seguenti parametri di perforazione:
  - ✓ spinta applicata all'utensile di perforazione;
  - ✓ velocità di avanzamento;
  - ✓ coppia di rotazione assorbita;
  - ✓ velocità di rotazione;
  - ✓ pressione del fluido di circolazione.

La registrazione dei parametri avverrà con frequenza di un'operazione di memorizzazione per 1 cm di avanzamento dell'utensile o per 1 minuto primo, nel caso di velocità di avanzamento inferiori a 1 cm/minuto.

Nel caso la centralina sia in grado di registrare solo parte dei parametri elencati, sono da scegliersi salvo diversa indicazione della Direzione Lavori, le misurazioni relative a spinta, velocità di avanzamento e coppia di rotazione.

La centralina visualizzerà i parametri misurati su apposito visore, quelli registrati su grafico in carta; sarà misurata, registrata e visualizzata su visore, in ogni caso, la profondità raggiunta dalla prova.

### **Modalità esecutive**

La perforazione dovrà essere eseguita avendo cura, dopo qualche tentativo, di operare con la massima omogeneità.

In particolare, la spinta applicata all'utensile dovrà, se possibile, 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.

E' necessario che il detrito di perforazione fuoriuscente a bocca foro, nel caso di distruzione di nucleo, sia descritto con la migliore precisione possibile.

### **Documentazione**

La documentazione preliminare comprenderà quanto sotto elencato:

- informazioni generali su denominazione, ubicazione e quota assoluta di ciascuna verticale di prova e relativa monografia;
- caratteristiche dell'attrezzatura di perforazione e delle modalità esecutive del foro;
- grafico di cantiere con i parametri misurati e registrati;
- grafico elaborato con indicazione dell'energia assorbita per unità di volume perforato ( $\text{MJ/m}^3$ ) in funzione delle profondità;
- note ed osservazioni dell'operatore.

La documentazione definitiva comprenderà, oltre agli elementi sopracitati, i grafici di tutti i parametri registrati restituiti nella scala più idonea agli effetti interpretativi.

### **5.1.12 Prove con dilatometro piatto tipo Marchetti con prova sismica SDMT**

#### GENERALITÀ

La prova consiste nell'infiggere verticalmente nel terreno, mediante spinta statica, uno strumento di prova a lama, espandendo con del gas in pressione una membrana circolare situata su di un lato dello strumento e misurando le pressioni corrispondenti a due livelli di deformazione predeterminati della membrana.

#### BIBLIOGRAFIA TECNICA DI RIFERIMENTO

- Marchetti S. (1980) - "In situ tests by flat dilatometer", ASCE, J. Geotech. Eng. Div. GT3

#### DISPOSITIVO DI SPINTA

Può essere costituito da un penetrometro statico da 20 t di spinta effettiva, completo di batteria di aste (est = 36 mm) oppure dal dispositivo di spinta di una sonda da perforazione; in questo secondo caso si richiede che almeno 23 m delle aste, quelle connesse allo strumento di prova, abbiano 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 est = 36 mm; può uscire in corrispondenza del raccordo tra aste est = 36 mm e quelle di perforazione di diametro superiore, tramite apposito giunto spaccato longitudinalmente ed essere fissato opportunamente all'esterno delle aste.

#### ATTREZZATURA ORIGINALE MARCHETTI

L'attrezzatura dilatometrica sarà del tipo originale, coperta da brevetto, del tipo Marchetti, senza modifiche e dovrà comprendere:

- dilatometro tipo Marchetti (95 x 200 x 14 mm), con membrana metallica laterale espandibile per 1 mm al centro;



- centralina di misura tipo Marchetti;
- cavo elettropneumatico di collegamento del dilatometro con la centralina;
- bombola di gas azoto.

#### 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 dell'asse entro 0,2 mm. La membrana dovrà essere liscia e regolare ed il metallo che la costituisce non deve essere snervato.

Una volta collegata la lama ai tubi di adduzione gas alla centralina di misura ed alle bombole non si dovranno rilevare nel circuito perdite di pressione maggiori di 100 kPa/min .

#### TARATURA

L'entità della deformazione della membrana in corrispondenza dei punti di misura A e B sarà misurata tramite il dispositivo di taratura. I segnali acustici relativi ai punti A e B dovranno cessare a deformazioni di 0,05 mm e 1,1 mm rispettivamente.

Membrane con caratteristiche diverse non saranno accettate e dovranno essere sostituite.

Le membrane nuove dovranno essere sottoposte a 20 cicli di carico e scarico con pressioni comprese entro i limiti indicati dal costruttore prima di essere impiegate in prove reali.

La taratura della membrana dovrà essere eseguita di nuovo al termine delle prove oppure ogni 5 verticali di prova.

La prova sarà eseguita da personale in possesso del patentino di abilitazione rilasciato dal costruttore.

Il dilatometro sarà spinto verticalmente nel terreno arrestando la penetrazione ad intervalli di 20 cm per l'esecuzione delle misure.

Durante l'infissione il segnale acustico (o audiovisivo) sarà sempre attivato e la valvola di sfiato dovrà essere aperta.

Raggiunta la quota di prova ed arrestata l'infissione si scaricano da ogni pressione le aste entro 15 secondi, si invia gas alla membrana misurando, tramite la centralina elettro- pneumatica di superficie:

- la pressione alla quale inizia il distacco della membrana (lettura A), da rilevarsi entro 20 secondi dalla immissione del gas;
- la pressione necessaria per espandere di 1 mm il centro della membrana (lettura B), da rilevarsi entro 30 secondi dalla lettura A.

Se richiesto verrà anche misurato ed annotato il valore C della pressione che agisce sulla membrana quando, durante lo scarico del gas (dapprima immesso per ottenere le letture A e B), la membrana viene a trovarsi di nuovo nella posizione di riposo; il tempo di scarico deve essere compreso in non oltre 30 sec. e la centralina essere dotata di valvola di sfiato regolabile per il controllo graduale della deformazione.

Tale ciclo di misure, salvo diverse prescrizioni, deve essere ripetuto ogni 20 cm.

La prova si intende conclusa quando il dilatometro ha raggiunto la profondità stabilità.

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 secondo le modalità precisate alla voce IG.EP.C.203 per la profondità prescritta. La tubazione di rivestimento del foro deve avere diametro idoneo per permettere il passaggio del dilatometro.

In alternativa (fori molto profondi, operazioni da natante, etc...) la cella può essere infissa utilizzando l'attrezzatura di perforazione, con le relative aste.

Durante l'esecuzione della prova l'immissione del gas al dilatometro deve essere effettuata in modo da non causare apprezzabili cadute di pressione lungo il tubetto di collegamento.

## DOCUMENTAZIONE

Per ogni prova deve essere fornita la seguente documentazione:

- individuazione del punto di prova e della data di esecuzione;
- quote delle letture eseguite;
- valore di pressione di inizio dilatazione della membrana (lettura A);
- valore di pressione relativa alla dilatazione di 1 mm del centro della membrana (lettura B);
- eventuali annotazioni dell'operatore e data di esecuzione.

Le letture (A e B) devono essere elaborate e diagrammate in modo da ottenere i profili di:

- indice di materiale ID, correlato alla granulometria del materiale (sabbia, limo, argilla);
- modulo edometrico  $M_o = 1/m_v$ ;
- modulo dilatometrico  $E_d$ ;
- coesione non drenata  $c_u$  (nei soli terreni coesivi);
- angolo di attrito (solo nei terreni incoerenti);
- indice di spinta orizzontale  $k_d$ ;
- coefficienti di spinta orizzontale  $k_o$ ;

- grado di sovraconsolidazione.

Tutte le informazioni indicate devono essere anche riportate in apposita tabella conclusiva in formato digitale per software in ambiente windows.

Prove di permeabilità in sondaggio tipo Lefranc

### **Definizione**

La prova è eseguita nel corso di un sondaggio in tratti di terreno al di sotto del livello della falda freatica (o in generale in terreni saturi) per l'investigazione della conducibilità idraulica (permeabilità) dei terreni (k).

La prova, eseguita con le modalità di seguito specificate, è destinata a misurare la conducibilità idrica orizzontale del terreno; si esegue misurando gli assorbimenti di acqua nel terreno, facendo filtrare l'acqua attraverso un tratto di foro predeterminato.

Nel caso di terreni a conducibilità non elevata si esegue a carico idraulico variabile; a carico idraulico costante nel caso di elevata conducibilità. La prova Lefranc a carico costante, avviene misurando la portata necessaria a mantenere un certo livello, mentre a carico variabile si misura l'abbassamento dell'acqua dentro il rivestimento del foro dopo averlo riempito.

In ogni caso il foro dovrà essere pulito (ed eventualmente riempito a fondo foro con ghiaia pulita per uno spessore di circa 10÷20 cm) prima di ogni prova e la profondità accuratamente scandagliata; non sono ammesse prove con fondo foro soggetto a rifluimento o "sporche" di detriti di perforazione.

In caso di perforazione con fluidi diversi dall'acqua (bentonite, polimeri) il foro dovrà essere a maggior ragione accuratamente pulito prima dell'esecuzione della prova, misurando l'effettiva profondità con scandaglio.

### **Modalità esecutive**

Per la conduzione dell'attività e le prescrizioni tecniche si farà riferimento a:

- ✓ Specifiche ANISIG (Associazione Nazionale Imprese specializzate in Indagini Geognostiche – [www.anisig.it](http://www.anisig.it)) doc. “56303\_documento\_6.
- ✓ Specifiche AGI (“Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche” – 1977 – § 6.3.1.)

Le modalità esecutive di ciascuna prova saranno le seguenti:

- perforazioni con carotiere fino alla quota di prova;
- rivestimento del foro fino alla quota raggiunta dalla perforazione, senza uso di fluido di circolazione almeno negli ultimi 100cm di infissione;
- inserimento nella colonna di rivestimento di ghiaia molto lavata fino a creare uno spessore di 60cm dal fondo foro;
- sollevamento della batteria di rivestimento di 50cm, con solo tiro della 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;
- esecuzione della prova.

**b.1) Carico idraulico variabile**

- ✓ Riempimento con acqua fino alla estremità del rivestimento.
- ✓ Misura del livello dell'acqua all'interno del tubo (senza ulteriori immissioni) a distanza di 15", 30", 1', 2', 4', 8', 15' dall'inizio dell'abbassamento, fino all'esaurimento del medesimo o al raggiungimento del livello di falda.

**b.2) Carico idraulico costante**

- ✓ Immissione di acqua pulita nella batteria di rivestimento fino alla determinazione di un carico idraulico costante, cui corrisponde una

portata assorbita dal terreno costante nel tempo e misurata.

- ✓ Il controllo della portata immessa a regime idraulico costante sarà determinata con contaltri di sensibilità pari a 0.1 litri. La taratura del contaltri deve essere verificata in sito riempiendo un recipiente di volume noto e di capacità superiore a 100 litri.
- ✓ Le condizioni di immissione a regime costante devono essere mantenute, senza variazione alcuna, per 10 - 20min.
- ✓ A partire dal momento della interruzione della prova, si misureranno gli abbassamenti progressivi del livello dell'acqua all'interno del rivestimento a distanza di 15", 30", 1', 2', 4', 8', 15', proseguendo fino all'esaurimento dell'abbassamento o al raggiungimento del livello della falda.

## Documentazione

La documentazione di ciascuna prova comprenderà:

- informazioni generali;
- schema geometrico della prova;
- livello di falda;
- tempo di saturazione (se eseguita);
- portata a regime;
- letture degli abbassamenti in relazione ai tempi progressivi.

### 5.1.13 *Piezometri tipo Casagrande*

#### Caratteristiche

Il piezometro è costituito da un cilindro in pietra porosa, avente le seguenti dimensioni:

Lunghezza  $L = 20 \div 30 \text{ cm}$

Diametro esterno  $\varnothing_{\text{est}} = 5 \text{ cm}$

L'estremità della cella cilindrica viene connessa a 2 batterie di tubi in PVC o metallici, del diametro di  $1 \div 2 \text{ cm}$ , i quali giungono in superficie.

### Modalità di installazione

Le modalità di installazione sono le seguenti:

- Se richiesto, riempimento del foro con malta di cemento-bentonite-acqua (50 - 10 - 100 parti in peso), fino alla quota 1.5 m al di sotto di quella prevista per l'installazione del piezometro, con ritiro progressivo del rivestimento.
- Posa di un tappo impermeabile costituito da palline di bentonite ( $\varnothing 1 \div 2 \text{ cm}$ ) precedentemente confezionate, costipate con pestello, per lo spessori di 1 m, con ritiro ulteriore del rivestimento.
- Abbondante lavaggio del foro con acqua pulita.
- Posa di uno strato (spessore 0.5 m) di materiale granulare pulito ( $\varnothing 1 \div 4 \text{ mm}$ ).
- Discesa a quota del piezometro (mantenuto fino a quel momento in acqua pulita) collegando i tubi di andata e ritorno, assicurandosi della perfetta tenuta dei giunti.
- 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 ci sia sempre della sabbia.
- Posa di un secondo tappo impermeabile di palline bentonitiche, costipate con pestello ad aste, con progressivo ritiro del rivestimento.

- Cementazione del tratto di foro rimanente, come nel caso del primo riempimento, fino alla sommità (se non prevista l'installazione della seconda cella piezometrica).
- Le estremità dei tubi saranno inseriti in un pozzetto carrabile metallico con chiusura a lucchetto e chiave. Il pozzetto dovrà essere cementato nel terreno. Le chiavi dovranno essere identificate da un cartellino completo delle indicazioni del caso.

Terminata la installazione del piezometro, l'Impresa Esecutrice dovrà misurare e annotare il livello della falda, ripetendo la stessa operazione ogni giorno per tutta la rimanente durata della campagna d'indagine. Nel caso si debbano monitorare falde distinte dovranno essere posti in opera (fino a max 2÷3 piezometri nello stesso foro) celle Casagrande o simili, con doppio tubicino Ø 0,5 " oppure con uno dei due tubicini a diametro maggiorato in caso di posa di datalogger o necessità di campionamento ambientale.

## Documentazione

La documentazione comprenderà, per ciascun cella (o coppia) installata:

- informazioni generali e relativa monografia dell'installazione;
- schema geometrico di installazione;
- quota assoluta dei termini piezometrici;
- tabelle con letture piezometriche.

### 5.1.14 *Piezometro a tubo aperto*

#### Caratteristiche

Il piezometro è costituito da una batteria di tubi del diametro interno  $\varnothing_{int}$  di 40 ÷ 100 mm, in metallo o PVC, giuntati in forma solidale fino all'ottenimento della lunghezza richiesta e parzialmente finestrati.



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

Il piezometro fessurato della lunghezza di  $4 \div 6$  m e sarà posizionato alla distanza di 1 m dall'estremità inferiore del tubo piezometrico; la finestratura avrà apertura di  $0.4 \div 1.0$  mm.

Nel caso di installazione di tubi per misure con micromulinello o per scopi diversi, la distribuzione dei tratti finestrati e ciechi dovrà essere chiaramente indicata nei programmi lavori.

### **Modalità di installazione**

Le modalità di installazione saranno le seguenti:

- prima di estrarre il rivestimento provvisorio si laverà l'interno del foro con abbondante acqua pulita;
- si introdurrà il tubo piezometrico immorsandolo nel terreno di base, gettando poi nell'intercapedine tubo-rivestimento materiale granulare pulito ( $\varnothing 2 \div 4$  mm) fino a risalire di 1 m dalla estremità superiore del tratto finestrato estraendo progressivamente il rivestimento senza l'ausilio della rotazione;
- si colmerà il tratto superiore dell'intercapedine con materiale limo-argilloso o sabbioso;
- l'estremità dei tubi sarà protetta con tappo avvitato;
- il terminale piezometrico sarà inserito in un pozzetto carrabile metallico con chiusura a lucchetto e chiave. Il pozzetto dovrà essere cementato nel terreno;

Terminata l'installazione del piezometro, l'Impresa Esecutrice dovrà misurare ed annotare il livello della falda, ripetendo la stessa operazione ogni giorno per tutta la rimanente durata della campagna d'indagine.

## Documentazione

La documentazione comprenderà, per ciascun piezometro installato:

- informazioni generali e relativa monografia dell'installazione;
- caratteristiche dei tubi installati;
- schema geometrico di installazione;
- quota assoluta del terminale piezometrico;
- tabelle con letture piezometriche.

### **5.1.15 Valutazione della permeabilità dei terreni con il micromulinello**

Il micromulinello è uno strumento che misura le velocità di circolazione verticale dell'acqua all'interno di un piezometro a tubo aperto. Con il micromulinello non si esegue una misura vera e propria della permeabilità di uno strato ma si possono localizzare le zone più permeabili ed ottenere una visione dell'eterogeneità o meno del terreno investigato.

Il micromulinello è costituito:

- Il sensore (elica) che viene inserito nel foro piezometrico
- Il registratore di impulsi in superficie che fornisce direttamente il numero di giro del sensore in un determinato tempo scelto.
- 

## Modalità di installazione

**La strumentazione viene installata all'interno del piezometro Casagrande od a tubo aperto. Si evita l'impiego di fanghi di perforazione.**

## Documentazione

La documentazione comprenderà, per ciascun mulinello installato:

- informazioni generali e relativa monografia dell'installazione;

- caratteristiche dei tubi installati, del sensore e del registratore;
- schema geometrico di installazione;
- quota assoluta del all'inizio e al terminale dell'installazione della strumentazione;
- tabelle con le letture eseguite ed interpretazione della prova.

#### **5.1.16 Pozzetti geognostici**

Per la conduzione dell'attività e le prescrizioni tecniche si farà riferimento a:

- ✓ Specifiche AGI ("Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche" – 1977 – § 2.2. e § 3.2).

#### **Attrezzatura**

Lo scavo del pozzetto esplorativo verrà eseguito con un escavatore a braccio rovescio in grado di raggiungere  $4 \div 5$  m dal piano di lavoro senza riprese.

#### **Scavo**

Lo scavo avrà dimensioni orientative di  $2 \times 2$  m, in pianta, e verrà spinto alla profondità indicata.

Le pareti dello scavo saranno profilate con pendenza tale da garantire la stabilità dello scavo e la sicurezza dell'operatore che procede alla ispezione.

Ad ispezione conclusa il pozzetto verrà ritombato utilizzando lo stesso materiale di scavo, costipandolo con la benna dell'escavatore usata come maglio.

Se richiesto, il riempimento dovrà avvenire con materiali granulari di cava, costipati in strati.

#### **Ispezione del pozzetto**

L'ispezione dello scavo prevede che venga compilata la stratigrafia del pozzetto, in accordo con lo schema descrittivo seguente:

- spessore del terreno vegetale o della copertura;
- descrizione dei singoli strati attraversati, secondo le modalità elencate nella parte relativa al sondaggio geotecnico, adattandole alla descrizione della parete dello scavo.

## **Documentazione**

La documentazione di ciascun pozzetto comprenderà:

- informazioni generali e relativa monografia del sito di indagine;
- quota assoluta del punto di indagine;
- stratigrafia del terreno;
- documentazione fotografica;
- indicazioni relative al prelievo di campioni ed alla esecuzione di prove di carico su piastra;
- livello di falda quando presente.

### ***5.1.17 Saggi speditivi per la determinazione di scotichi***

#### **Attrezzatura**

Lo scavo dei saggi sarà eseguito con un escavatore a braccio rovescio, come già descritto nella parte pozzetti geognostici; sarà però sufficiente il poter raggiungere una profondità massima di 3 m dal p.c.

#### **Scavo**

Lo scavo verrà realizzato analogamente a quanto già specificato nella parte dei pozzetti geognostici.

#### **Ispezione del saggio**

L'esame dello scavo sarà principalmente finalizzato alla determinazione dello spessore del terreno vegetale e/o di riporto, che deve essere corrispondente a

quell'eventuale strato nel quale il contenuto in sostanza organica vegetale e/o antropica sia effettivamente prevalente e tale da procurare alta compressibilità e scadenti caratteristiche geotecniche.

Oltre alla determinazione di tale spessore, lo scavo sarà speditivamente descritto con criteri geotecnici, analogamente a quanto richiesto per i pozzetti geognostici.

## **Documentazione**

La documentazione di ogni saggio speditivo comprenderà:

- informazioni generali ed ubicazione dei saggi speditivi ;
- spessore dello strato di terreno vegetale e/o di riporto;
- stratigrafia speditiva del terreno;
- documentazione fotografica;
- livello della falda.

### **5.1.18 Campionamento in pozzetto geognostico**

#### **Attrezzatura**

Le attrezzature necessarie per il prelievo di un campione indisturbato cubico sono sotto elencate:

- Attrezzi da scavo (piccone, pala, zappetta).
- Attrezzi da taglio (spatole taglienti, filo in acciaio armonico).
- Scatola cubica in legno, di lato da 25 ÷ 30 cm, con maniglie da trasporto; due facce contrapposte devono essere svitabili e riavvitabili in sito con semplice cacciavite.
- Paraffina in pani, 5 kg per ciascun campione.
- Pennello da 5 ÷ 8 cm di larghezza.
- Fornello a gas.

- Recipienti da fiamma.
- Per i campioni rimaneggiati valgono le indicazioni espresse nella parte "Campionamento geotecnico nei sondaggi"

### **Modalità di prelievo**

Le modalità di prelievo del campione indisturbato cubico saranno le seguenti:

- Alla quota indicata dal programma dei lavori si tratterà sul piano di lavoro il perimetro quadro corrispondente alla faccia della scatola cubica.
- Si scaverà a mano all'esterno del perimetro, isolando lateralmente un blocco di terreno indisturbato.
- Si rifinirà con arnesi affilati il blocco fino ad ottenere un parallelepipedo facilmente contenuto dalla scatola.
- Si paraffinerà la superficie del blocco isolato.
- Si infilerà la scatola di legno sul blocco, fino in fondo, avendo levato le facce svitabili.
- Si riempirà con paraffina fusa l'intercapedine scatola-campione, avvitando la faccia sommitale della scatola cubica.
- Si taglierà alla base il cubo con il filo di acciaio armonico.
- Si regolarizzerà e si paraffinerà il lato inferiore del campione cubico così ottenuto, riavvitando la faccia inferiore della scatola cubica.

### **Indicazioni sul campione**

Il contenitore recherà un'etichetta o una scritta che identifichi chiaramente il campione:

- Cantiere
- N. del pozzetto esplorativo
- N. del campione

- Quota di prelievo
- Parte alta del campione

Conservazione, imballaggio e trasporto del campione devono garantire l'assenza di disturbi imputabili a gelo, riscaldamento, urti o qualsiasi altra causa.

### **5.1.19 Determinazione dei moduli di deformazione $M_d$ e $M'_d$ mediante prova di carico a doppio ciclo con piastra circolare (PLT)**

#### **5.1.19.1 DEFINIZIONE E SCOPO**

Il modulo di deformazione  $M_d$  è una misura convenzionale della capacità portante dei terreni di sottofondo, degli strati di rilevato nonché degli strati non legati di fondazione e di base delle pavimentazioni stradali.

E' determinato mediante prova di carico con piastra circolare ed è definito dalla relazione

$$M_d = \frac{\Delta p}{\Delta s} D \quad \text{in N / mm}^2$$

$\Delta p$  = incremento della pressione trasmessa da una piastra circolare rigida di diametro  $D = 300$  mm, espresso in N/mm<sup>2</sup>

$\Delta s$  = corrispondente incremento di cedimento della superficie caricata, espresso in mm.

#### **5.1.19.2 PRINCIPIO DEL METODO DI PROVA**

La prova va eseguita con doppio ciclo di carico - secondo le modalità più avanti indicate - al fine di determinare con il primo ciclo il modulo

$M_d = \frac{\Delta p}{\Delta s}$  convenzionalmente indicativo della portanza, con il secondo ciclo il

modulo  $M'_d = \frac{\Delta p'}{\Delta s'}$  che consente di valutare, mediante il rapporto  $M_d/M'_d$ , il grado di costipamento dello strato in esame.

### 5.1.19.3 APPARECCHIATURE DI PROVA

- Una piastra circolare in acciaio di spessore non minore di 20 mm e del diametro di  $300 \pm 1$  mm. Tale piastra deve essere irrigidita mediante apposite nervature oppure mediante altra piastra in acciaio, di spessore non minore di 2 mm e del diametro di 160 mm, sovrapposta coassialmente ad essa.
- Una scatola cilindrica metallica all'interno della quale, in corrispondenza del centro della cerniera sferica, è ricavata una superficie piana su cui poggiare la punta del comparatore posto al centro della piastra (procedura a).

Tale scatola può essere omessa nel caso in cui si adotti la procedura b).

- Una cerniera sferica per il centramento del carico (bloccabile durante le operazioni di insediamento dell'attrezzatura) da disporre immediatamente al di sopra della piastra di carico.
- Un martinetto meccanico o idraulico di circa 50 kN di portata.
- Un dinamometro meccanico o idraulico della portata di circa 50 kN, avente una sensibilità di 0.5 kN.
- Una prolunga costituita da più aste cilindriche avvitate fra loro, in modo da consentire diverse lunghezze.
- Un comparatore centesimale avente capacità di misura di 10 mm, sensibilità di 1/100 di mm, oppure tre comparatori dello stesso tipo.
- Un braccio metallico snodabile portacomparatori, munito di dispositivo a vite micrometrica per l'azzeramento del comparatore (procedura a), ovvero tre bracci dello stesso tipo (procedura b).
- Un sostegno dei bracci portacomparatori, costituito da una trave sufficientemente rigida, della lunghezza di circa m 2.50, munita all'estremità di due supporti per l'appoggio al terreno oppure, in alternativa, un sostegno costituito da due travi di uguale lunghezza di almeno m 1.20 ciascuna, incernierati fra loro da disporsi in opera su tre supporti.



- Un contasecondi.
- Un filo a piombo.
- Un termometro con scala da - 10 a + 60°C circa e sensibilità 1°C.

#### **5.1.19.4 ESECUZIONE DELLA PROVA**

Per la conduzione dell'attività e le prescrizioni tecniche si farà riferimento a:

- ✓ ASTM1194/1195/1196-87,
- ✓ AASHTO R 235 – 74,
- ✓ Norma Svizzera SNV 670317a (1981).

Per l'esecuzione della prova è necessario disporre di un contrasto fisso, che può essere costituito dalla parte posteriore del telaio di un autocarro sul cui asse posteriore gravi un carico almeno doppio di quello massimo da esercitare sulla piastra.

Si dispone la piastra sulla superficie dello strato di cui si vuol determinare il modulo di deformazione, curando che il contatto sia il più completo possibile; all'uopo, le eventuali irregolarità superficiali verranno livellate a mezzo di un sottile strato di sabbia od altro materiale incoerente, tutto passante al setaccio da 2 mm. Allorché si rende necessario effettuare la prova su una superficie già ricoperta da altro strato, occorre praticare uno scavo le cui pareti distino almeno 30 cm (1D) dal bordo della piastra.

Misura del cedimento

Procedura a): con un solo comparatore

Dopo aver sistemato e bloccato la cerniera sferica, si pone sulla piastra la scatola cilindrica e si introduce all'interno di essa il comparatore (sorretto dall'apposito braccio) in modo che la sua punta poggi sulla sede appositamente ricavata nella parte inferiore della scatola.

Il braccio portacomparatore viene a sua volta fissato alla trave di sostegno i cui

appoggi devono distare dai bordi delle aree caricate (piastra e ruote o altro supporto del contrasto) non meno di m 1 per la piastra e di 0.50 m per le ruote.

Il complesso di misura dei cedimenti (trave, braccio, comparatore) deve essere riparato dai raggi diretti del sole, da scosse e da vibrazioni.

Occorre evitare, inoltre, qualsiasi circolazione in prossimità del posto di misura.

Si dispongono sopra la scatola il martinetto e il dinamometro facendo in modo che l'asta di prolunga contrasti con il telaio dell'autocarro zavorrato, ovvero si fa retrocedere sopra la scatola l'autocarro con il martinetto, il dinamometro e la prolunga già montati

Si avrà cura, servendosi del filo a piombo, di far sì che il punto d'appoggio del martinetto e la cerniera sferica di base si trovino sulla stessa verticale.

Procedura b): con tre comparatori

Le modalità della prova sono quelle della procedura già descritta al precedente punto, salvo che:

- non viene impiegata la scatola cilindrica di cui al punto precedente;
- si dispone la cerniera sferica fra la struttura e la prolunga, di cui al punto precedente;
- si dispongono a 120° sul perimetro della piastra, a circa 5 mm dal bordo, tre comparatori avvalendosi dei tre bracci di cui al punto precedente.

Si libera la cerniera sferica e si applica, agendo sul martinetto, un carico di assetto di  $0.02 \text{ N/mm}^2$  complessivamente, ossia compreso il carico dell'apparecchiatura gravante sulla superficie da provare e non misurata dal dinamometro.

Si attende che i cedimenti si siano esauriti (convenzionalmente quando la differenza tra due lettere consecutive del comparatore effettuate alla distanza di 1' l'una dall'altra è  $\pm 0.02 \text{ mm}$ ) e si azzerano i comparatori.

Prima di effettuare qualsiasi lettura al comparatore è necessario, per eliminare gli

attriti, dare qualche leggera scossa al braccio o ai bracci portacomparatori o alla trave di sostegno, in modo che l'ago oscilli attorno alla lettura definitiva.

Si porta il carico al valore di  $0.05 \text{ N/mm}^2$  e si effettua una prima lettura del comparatore (a) o dei comparatori (b); in quest'ultimo caso si determina la media dei tre cedimenti letti.

Vengono, quindi, applicati i seguenti incrementi di carico, effettuando, ogni minuto, le corrispondenti letture al comparatore fino alla stabilizzazione dei cedimenti.

a) Primo ciclo:

- per i terreni di sottofondo e per gli altri strati di rilevato: incrementi di carico di  $0.05 \text{ N/mm}^2$  fino a raggiungere la pressione di  $0.2 \text{ N/mm}^2$ ;
- per strati di fondazione e per strati di base: incrementi di carico di  $0.1 \text{ N/mm}^2$  fino a raggiungere rispettivamente la pressione di  $0.35$  e  $0.45 \text{ N/mm}^2$ .

Si effettuano le letture dei cedimenti ad ogni incremento di carico (Se si adotta la procedura (b), il cedimento accusato da un comparatore non deve differire dal cedimento fornito dalla media di più di  $0.9 \text{ mm}$ . In caso contrario la prova è da considerarsi non valida). Letto il cedimento relativo al carico massimo, si esegue lo scarico completo se interessa determinare soltanto il modulo  $M_d$ ; se, invece, interessa giudicare sulla qualità del costipamento, occorre determinare anche il modulo  $M'_d$ ; in questo caso, effettuato il primo ciclo di carico, si esegue lo scarico fino alla pressione di  $0.05 \text{ N/mm}^2$  e si rileva, dopo stabilizzazione della deformazione, il cedimento residuo. Partendo da queste condizioni, si inizia il secondo ciclo, applicando i seguenti incrementi di carico:

b) Secondo ciclo di carico:

- per terreni di sottofondo e per gli strati di rilevato: incrementi di carico di  $0.05 \text{ N/mm}^2$  fino a raggiungere la pressione di  $0.15 \text{ N/mm}^2$ ;

- per strati di fondazione e per strati di base: incrementi di carico di  $0.1 \text{ N/mm}^2$  fino a raggiungere, rispettivamente, la pressione di  $0.25$  e  $0.35 \text{ N/mm}^2$ .

Si misura la temperatura dell'aria più volte nel corso della prova per accertare che essa non abbia subito variazioni sensibili.

Eseguita la prova, si rimuove l'apparecchiatura e si effettua un prelievo di materiale in prossimità del punto di misura per stabilire l'umidità (Norma CNR-UNI 10008) dello strato. Il prelievo deve interessare uno spessore di almeno  $15 \text{ cm}$ .

Nel caso di prove di carico eseguite su un sottofondo la cui struttura non sia nota, si deve eseguire uno scavo nel terreno fino alla profondità di circa  $50 \text{ cm}$ , onde rilevare la stratigrafia del terreno medesimo e controllare che sotto la piastra non vi siano ciottoli o blocchi di dimensioni maggiori di  $10 \text{ cm}$ . In tale eventualità la prova non deve considerarsi significativa e va ripetuta in altro posto.

Nel caso di prove eseguite su strati di fondazione o di base si dovrà aver cura che la dimensione massima dell'aggregato in corrispondenza della zona provata non superi  $10 \text{ cm}$ .

#### **5.1.19.5 INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI**

I risultati della prova si trascrivono su appositi moduli e si riportano sotto forma di diagrammi aventi in ascisse le pressioni ed in ordinate i cedimenti, così come indicato schematicamente nelle figura 4a, 4b, 4c.

I moduli di deformazione  $M_d$  e  $M'_d$  corrispondenti al primo ed al secondo ciclo di carico rispettivamente, vengono determinati applicando la relazione di cui al punto 1. nella quale (con ovvio significato dell'apice)  $\Delta p$  e  $\Delta p'$  si fissano pari a  $0.1 \text{ N/mm}^2$  e si scelgono normalmente nei seguenti intervalli:

- per i terreni di sottofondo e per strati di rilevato:

$$\Delta p = \Delta p' \text{ compreso tra } 0.05 \text{ e } 0.15 \text{ N/mm}^2$$

- per strati di fondazione:

$$\Delta p = \Delta p' \text{ compreso tra } 0.15 \text{ e } 0.25 \text{ N/mm}^2$$

- per strati di base:

$$\Delta p = \Delta p' \text{ compreso tra } 0.25 \text{ e } 0.35 \text{ N/mm}^2$$

La valutazione della qualità del costipamento si effettua in base al rapporto  $M_d/M'_d (\leq 1)$  che risulta tanto più prossimo all'unità quanto migliore è la qualità del costipamento.

#### **5.1.19.6 PRECISIONE**

Ripetibilità e riproducibilità non determinate.

#### **5.1.20 Prove di carico su piastra ad elica (SPLT)**

Il sistema di prova Screw Plate consiste nell'effettuare una prova di carico in profondità utilizzando una piastra di forma elicoidale che viene avvitata nel terreno fino alla profondità di prova, senza arrecare disturbo. Ciò permette di avere delle informazioni sul comportamento del terreno sottoposto a carico anche a profondità che eccedono lo scavo di un pozzetto geotecnico.

Il sistema presenta il vantaggio di poter eseguire verticali con prove a varie quote, senza asporto di terreno, mantenendo perciò le tensioni verticali ed orizzontali esistenti in natura.

Considerata la difficoltà di eseguire campionamenti indisturbati in molti terreni (sabbia, terreni eterogenei ecc.) e gli evidenti problemi di rimaneggiamento connessi allo stesso campionamento (Stress Release), la prova Screw Plate si pone come un valido strumento alternativo per la valutazione di alcuni parametri caratteristici del terreno.

#### 5.1.20.1 MODALITA' DI ESECUZIONE

Le prove di carico su piastra elicoidale si eseguono mediante l'impiego della seguente attrezzatura:

- apparato di infissione e spinta:
- penetrometro statico provvisto di due eliche di contrasto per l'autoancoraggio e testa di rotazione, o in alternativa sonda a rotazione
- una batteria di aste esterne per l'infissione a rotazione della piastra, di lunghezza variabile fra 0.5 e 3 m, dotate di giunti speciali che permettono la trasmissione della rotazione in entrambi i sensi (tipo "ad esagono");
- una batteria di aste interne (coassiali a quelle esterne), per la trasmissione del carico alla piastra elicoidale;
- una piastra elicoidale Ø 162 mm, superficie equivalente (in proiezione) pari a 200 cm<sup>2</sup> e passo di avvitamento non superiore a 3 cm, connessa alle aste esterne mediante una ghiera, scorrevole in senso verticale per alcuni centimetri per la trasmissione della rotazione alla piastra permettendone nel contempo lo spostamento verticale solidale alle aste interne;
- strumentazione di spinta e misura composta da: un micrometro che misura gli spostamenti relativi verticali fra un punto fisso (solidale all'attrezzatura di spinta o meglio ad un punto fisso) e le aste interne, un martinetto idraulico per l'applicazione dei carichi, una cella di carico di precisione (valore minimo rilevabile 1 N) per la misura dei carichi applicati;
- sistema di perforazione eventualmente rivestita, con diametro del rivestimento Ø 220 mm (interno Ø198 mm), per l'esecuzione di un preforo rivestito in presenza di terreno grossolano negli strati superficiali e/o impossibilità di infiggere la piastra per il tratto superiore.
- La procedura di infissione é particolarmente delicata in quanto non deve

avvenire disturbo del terreno di prova; é necessario pertanto sincronizzare la rotazione con l'avanzamento in modo da non comprimere o "strappare" il terreno nel corso dell'infissione. Viene pertanto utilizzato un sistema di controllo a vite con passo identico al passo della piastra.

Esecuzione di preforo, a distruzione di nucleo o a carotaggio continuo in caso di presenza di riporto, muratura, ghiaia, terreno nel quale sarebbe difficoltosa l'infissione a rotazione della piastra.

Infissione della piastra a rotazione lenta, senza applicazione di spinta, con rotazione sincronizzata con il passo dell'elica, tramite le aste esterne, fino alla profondità di prova.

Montaggio dell'attrezzatura di spinta e di misura, con collegamento del micrometro alle aste interne e della cella di carico al contrasto; taratura degli "zeri" della strumentazione e recupero dei giochi fino a una pressione che può essere variabile fra 0.02 e 0.1 Mpa in funzione del tipo di terreno.

Fase di prova con aumento progressivo della spinta sulla piastra e registrazione dei cedimenti in corrispondenza di prefissati valori della pressione verticale.

Smontaggio dell'attrezzatura di misura e di spinta ed approfondimento della piastra, con le modalità descritte in precedenza, per l'esecuzione della successiva prova di carico

Al termine dei test previsti lungo la verticale di prova si procede all'estrazione della piastra, sempre a rotazione.

La prova SPLT può essere eseguita in tutte le terre coesive ed incoerenti, può essere applicata a :

- Argille, limi argillosi, limi sabbiosi, da teneri a leggermente consolidati
- Sabbie da fini a grosse, da sciolte ad addensate

Terreni misti con deboli percentuali di ghiaia

Terreni di riporto o non naturali, con caratteristiche simili ai tipi precedenti (ceneri, fanghi più o meno consolidati, materiali di risulta, ecc.)

Una volta eseguita l'infissione, la prova può essere di tipo "rapido", eseguita a deformazione costante o a gradini di carico, con eventuale inserimento di cicli di carico-scarico (loop), oppure "lenta" a carico costante, per una valutazione delle caratteristiche di consolidazione dei terreni coesivi.

La scelta dei gradini di carico è condizionata dalle caratteristiche dei terreni e dal tipo di problema in esame, e sarà finalizzata ad investigare, in maniera più completa possibile, la curva sforzo-deformazione del terreno, evidenziandone il comportamento caratteristico.

La curva di prova evidenzia in genere un primo tratto a comportamento pseudo-elastico, seguito da una fase evidentemente deformativa, al raggiungimento della pressione limite.

I carichi massimi di prova sono imposti o dal raggiungimento della rottura del terreno o dal fondo scala del sistema (7-10 kg/cm<sup>2</sup>).

L'esame della curva di prova consente la valutazione di:

- carico limite ultimo
- coesione non drenata
- coefficiente di sottofondo (Winkler)
- coefficiente di consolidazione
- modulo elastico non drenato/drenato

La prova è particolarmente indicata nei problemi di simulazione del comportamento dei terreni sotto carico (fondazioni superficiali o profonde, pavimentazioni, riempimenti, sottofondi, rilevati, ecc.) in quanto è quella che meglio riproduce in scala le condizioni operative reali.



### **5.1.21 Installazione di inclinometri**

Gli inclinometri sono strumenti per il monitoraggio delle deformazioni ortogonali all'asse di un tubo per mezzo di una sonda che scorre nel tubo stesso. La sonda contiene un trasduttore che misura l'inclinazione del tubo rispetto alla verticale. I tubi inclinometrici possono essere installati sia in sondaggio che all'interno di materiale di riempimento.

#### **Strumentazione ed installazione**

Gli strumenti inclinometrici sono costituiti da un tubo, installato permanentemente, generalmente in plastica o lega d'alluminio, la cui sezione non è esattamente circolare, ma presenta delle scanalature simmetriche, disposte a 90° l'una dall'altra, che guidano la sonda.

Vi è poi una sonda portatile contenente un trasduttore di inclinazione, collegata con un cavo elettrico graduato, ad un'unità di lettura, anch'essa portatile. La sonda è munita di ruote, che devono essere inserite in una coppia di scanalature del tubo affinché rimanga 28 parallela al tratto di tubo che sta attraversando ed effettui le misure in un piano ben definito. Effettuando due serie di misure, nei due piani ortogonali individuati dalle due coppie di scanalature, si possono determinare le componenti del movimento orizzontale di una qualunque sezione.

#### **Documentazione**

La documentazione di ciascun inclinometro sarà costituita da:

- informazioni generali e relativa monografia del sito di indagine;
- quota assoluta del punto di indagine;
- documentazione fotografica;
- indicazioni relative alla strumentazione installata;
- grafico spostamenti vs profondità ed elaborazione delle prove;
- monitoraggio e lettura della strumentazione installata.

### 5.1.22 *Installazione di estensimetri*

Gli estensimetri sono utilizzati per il monitoraggio delle variazioni di distanza tra due o più punti lungo un asse comune, non necessariamente verticale. Sono strumenti che consentono di verificare le variazioni dell'apertura delle discontinuità. Permettono di ricavare, oltre all'apertura di fessure anche il valore delle tensioni. Possono essere meccanici (asta o a filo), elettrici (a resistenza) ed ottici. Il tipo di estensimetro è funzione delle caratteristiche e scopo del progetto.

La strumentazione per l'estensimetro a cavo 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 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).

L'estensimetro incrementale può essere ad accoppiamento meccanico o ad accoppiamento elettromagnetico.

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.

Documentazione

La documentazione di ciascun inclinometro sarà costituita da:

- informazioni generali e relativa monografia del sito di indagine;
- quota assoluta del punto di indagine;
- documentazione fotografica;
- indicazioni relative alla strumentazione installata;
- grafico spostamenti vs profondità ed elaborazione delle prove;
- monitoraggio e lettura della strumentazione installata.

## 5.2 PROSPEZIONI GEOFISICHE

Le prospezioni geofisiche permettono di creare un modello del sottosuolo o di ricercare oggetti e strutture sepolte in modo non invasivo. Inoltre permettono di effettuare una serie di misure in superficie o in fori di sondaggio le quali consentono di analizzare la variazione nello spazio di alcune proprietà del terreno investigato, classificare il terreno di fondazione (NTC 2018) e definire il rischio sismico dell'area investigata. 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.

Vi è da precisare che le prospezioni geofisiche sono un aiuto all'interpretazione delle caratteristiche del sottosuolo e come tali è bene confrontarle con prove dirette in sito (come sondaggi geognostici, prove penetrometriche, ecc...). Di seguito vengono elencate le principali indagini geofisiche, le quali in funzione allo scopo, parametri e caratteristiche del sottosuolo si sceglierà la tecnica o le tecniche più idonee.

### **5.2.1 Geoelettrica**

La geoelettrica si basa sull'immissione di correnti elettriche nel terreno con due o più elettrodi, detti "elettrodi di corrente", e sulla misura della tensione (differenza di potenziale) raccolta tra altri due elettrodi, detti "di potenziale". A seconda della distanza reciproca tra gli elettrodi che immettono la corrente e gli altri due che la misurano si possono indagare profondità sempre maggiori di terreno. Il parametro che viene misurato è la resistività elettrica, resistività elettrica che dipende dalla porosità, dalla permeabilità e dal contenuto ionico dei fluidi di ritenzione.

Tomografia elettrica

### **5.2.2 Prospezione 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.

### **5.2.3 Georadar (GPR)**

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.

#### **5.2.4 Geosismica**

Prospezioni 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.

Prospezioni 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.

Prospezioni con tecnica Down Hole

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

#### Prospezioni con tecnica Cross- Hole

Il metodo sismico Cross-Hole misura la velocità di propagazione delle onde di compressione ( $V_p$ ) e di taglio ( $V_s$ ) 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.

#### 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 ( $V_s$ ) e del parametro  $V_{s30}$  (velocità media delle onde 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 Rayleigh, 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).

#### 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 ( $V_s$ ) e del parametro  $V_{s30}$  (velocità media delle onde 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.

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 sofficie 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).

Prospezioni 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.

## 5.3 ESAMI GEOTECNICI DI LABORATORIO SU CAMPIONI DI TERRE

### 5.3.1 *Identificazione dei campioni*

L'identificazione dei campioni e/o delle parti di campione dovrà avvenire con le seguenti modalità:

- Ricevimento ed immagazzinamento campioni: sarà da verificare o da istituire una chiara identificazione dei campioni, facendo riscontro alle distinte o alle stratigrafie di accompagnamento e segnalando immediatamente ogni eventuale carenza o discordanza.
- Apertura e descrizione campioni: l'identificazione iniziale dovrà essere conservata e potrà essere in questa fase integrata dalla indicazione delle diverse parti di campione eventualmente distinte.
- Esecuzione dell'attività di laboratorio: l'identificazione derivante dalle fasi precedentemente descritte dovrà seguire il materiale, e pertanto potrà essere applicata sul materiale stesso, o potrà essere apposta sul contenitore del materiale, o potrà essere desumibile dalla corrispondenza fra l'identità del contenitore utilizzato ed il materiale collocatovi. La stessa identificazione dovrà comparire nei moduli operativi nei quali saranno riportati i dati rilevati nel corso delle determinazioni effettuate.
- Elaborazione e documentazione: l'identificazione dovrà essere riportata nel corso degli eventuali procedimenti di elaborazione e dovrà comparire chiaramente nei moduli di documentazione finale dei risultati dell'attività svolta.

In generale un campione potrà essere identificato dai seguenti dati: denominazione della località, denominazione dell'indagine, denominazione del prelievo, denominazione del campione, profondità di prelievo. E' necessario che si possa garantire una corrispondenza biunivoca fra questi iniziali dati di identificazione ed i valori finali ottenuti dall'attività di laboratorio svolta sui



campioni considerati.

E' raccomandato che, qualunque sia il criterio secondo il quale vengono raccolti e presentati i risultati dell'attività di laboratorio, dalla documentazione si possano desumere, eventualmente anche da moduli riassuntivi, sia le prove effettuate per ogni punto di prelievo (sondaggio), ordinate in base alla profondità di prelievo, che le prove effettuate su ciascun campione esaminato.

### **5.3.2 Conservazione dei campioni**

Per la conduzione dell'attività e le prescrizioni tecniche si farà riferimento a:

- ✓ ASTM D75, D420, D421, D2488

I campioni, e specificamente quelli indisturbati o a limitato disturbo, verranno conservati in modo da preservarne le caratteristiche originarie.

All'atto della consegna si verificheranno, per tutti i campioni, le condizioni di sigillatura. Nel caso di campioni indisturbati la sigillatura e la conservazione del campione non è stata eseguita correttamente si potrà richiedere di effettuare nuovamente il campionamento oppure identificarlo come un altro tipo di campione.

In linea generale, per tutti i campioni si prenderanno eventualmente gli opportuni provvedimenti riguardanti le condizioni di sigillatura e conservazione e informandosi sulle operazioni effettuate durante il campionamento e la conservazione.

In generale i campioni verranno alloggiati in ambienti a temperatura moderata e ad umidità elevata, con l'eventuale eccezione per quelli rimaneggiati. E' raccomandato che i campioni siano depositati in un locale con temperatura media dell'ordine di  $17 \div 23^{\circ}\text{C}$  e con umidità possibilmente non inferiore all'80% o, meglio ancora, in un locale attrezzato a "camera umida".

### **5.3.3 Condizioni di trattamento dei campioni e mantenimento delle caratteristiche naturali**

Fatta eccezione solo per il caso in cui venga espressamente richiesto, o contemplato dalle procedure, di operare su materiali in condizioni particolari, è implicito che l'attività di laboratorio preveda di trattare i terreni campionati in modo da alterarne il meno possibile le caratteristiche e le proprietà naturali che devono essere determinate o investigate.

In generale, gli inconvenienti che si dovranno prevenire sono principalmente quelli qui di seguito sintetizzati:

- significative variazioni del contenuto d'acqua (umidità) che macroscopicamente possono essere denunziate da essiccamento o rammollimento del terreno;
- modificazioni della struttura del terreno;
- alterazione della composizione granulometrica del terreno o delle parti di terreno distinguibili.

Di conseguenza è opportuno che l'ambiente in cui vengono effettuate le operazioni di apertura, descrizione, selezione dei materiali e confezione dei provini sia a temperatura moderata, protetto da una forte insolazione e non eccessivamente secco.

Fra l'estrazione del campione e l'inizio delle determinazioni o delle prove programmate, l'intervallo di tempo dovrà essere ridotto al minimo; nel caso in cui il materiale debba necessariamente attendere per essere sottoposto a prova, dovrà essere protetto, o sigillato, ed eventualmente riposto ancora in camera umida.

La selezione delle porzioni di campione e la confezione dei provini dovranno essere eseguite con la massima cautela, in modo da minimizzare il disturbo del terreno.

Infine, anche e specialmente nelle fasi di montaggio delle prove e di avviamento

delle prove stesse, si raccomanda di mantenere il terreno nel suo stato originario, segnalando o evidenziando le eventuali variazioni di condizioni dovute alle procedure o alle metodologie adottate, ed evitando ogni tipo di modificazioni incontrollate.

#### **5.3.4 Criteri di programmazione degli esami di laboratorio**

In linea di principio l'attività del laboratorio geotecnico dovrà avere lo scopo di fornire dati utili per precisare la caratterizzazione, sempre dal punto di vista geotecnico, dei terreni investigati e campionati, in funzione della natura dei terreni stessi e delle esigenze progettuali e compatibilmente appunto con la natura, il tipo e le condizioni dei campioni disponibili.

A meno di problematiche particolari, sarà opportuno che l'attenzione venga rivolta particolarmente ai materiali coesivi che in generale possono essere sorgente di maggiori difficoltà nell'ambito della progettazione geotecnica e che però hanno la proprietà di conservare una migliore "memoria" della storia dello stato tensionale.

Al laboratorio dovrà essere fornita, oltre al programma di massima delle prove previste, anche la stratigrafia del sondaggio ed una segnalazione delle finalità (tipi di opere, di interventi o di dissesti considerati) in modo che sia possibile ottimizzare l'attività da intraprendere in funzione della situazione in sito e dello scopo degli esami programmati.

Il laboratorio dovrà svolgere le proprie attività in stretta collaborazione ed interazione col progettista geotecnico; tale rapporto consentirà al progettista di disporre di una analisi critica immediata dei campioni disponibili ed al laboratorio di venire a conoscenza di notizie integrative sulle problematiche da affrontare; da questo rapporto inoltre può scaturire la possibilità di precisare ed eventualmente di adeguare il programma di prove e, nel caso, anche di adottare modalità e procedure specifiche e più opportune per l'esecuzione delle prove previste.

Per questi motivi, a meno di gravi inconvenienti, il laboratorio dovrà fornire alla Direzione Lavori il programma temporale per l'attività, in modo che sia possibile

presenziare all'apertura dei campioni ed all'avvio dell'esecuzione del programma di prove.

Nel caso in cui non sia possibile instaurare una interazione fra il progettista ed il laboratorio e nel caso di controversie o di perplessità relative alle valutazioni e/o alle modalità operative del laboratorio, la Direzione Lavori si riserva di richiedere l'esame di alcuni campioni o l'esecuzione di alcune prove di controllo e verifica da effettuarsi presso un laboratorio di sua fiducia.

Tornando più specificamente al merito della programmazione dell'attività di laboratorio, è opportuno ribadire che è responsabilità del laboratorio operare in modo da garantire il miglior risultato possibile degli esami, delle determinazioni e delle prove, definendo dati valutabili come validi in base ai criteri dell'attendibilità, della significatività e della rappresentatività, dal punto di vista geotecnico.

A titolo non esaustivo, di seguito vengono presentate alcune indicazioni concernenti i principi generali che si raccomanda di seguire ai fini della caratterizzazione geotecnica di terreni mediante l'esecuzione di prove di laboratorio.

a) Caratterizzazione di massima (stratigrafica)

Nel caso in cui si disponga solamente di campioni rimaneggiati, è opportuno che si preveda l'apertura non di campioni singoli, o scelti in modo disperso, ma di campioni in serie continue e complete (ad esempio uno o più sondaggi completi).

A meno di inderogabili prescrizioni di programma, o eventualmente ad integrazione delle indicazioni ricevute, una volta effettuata la descrizione dei materiali si provvederà alla scelta delle prove che consisteranno principalmente in determinazioni delle composizioni granulometriche e al peso specifico dei grani (CNR-BU n° 63 e ASTM D854-92), accompagnate o sostituite da determinazioni delle caratteristiche di plasticità (limiti di

Atterberg - CNR-UNI 10014/1964 e ASTM D4318-95); tali determinazioni verranno eseguite con criteri di significatività e rappresentatività, tenendo conto dei rapporti di contiguità (verticale ed orizzontale) dei campioni in esame.

Qualora siano disponibili anche dei campioni indisturbati o a limitato disturbo, per essi sarà da prevedersi, oltre a quanto contemplato per i campioni rimaneggiati, la determinazione sistematica delle caratteristiche di contenuto naturale di acqua (CNR-UNI 1008 oppure ASTM D2216-92) e peso di volume naturale (CNR-BU n° 62 e n° 63 1978) e l'esecuzione, ove attendibile, di prove per la misura della resistenza al taglio iniziale (in termini di sforzi totali). Sarà inoltre opportuno programmare anche alcune prove edometriche da eseguire su materiali scelti come rappresentativi in senso stratigrafico, ed eventualmente qualche prova per la definizione delle proprietà di resistenza al taglio in termini di sforzi efficaci, in particolare per i terreni più plastici.

**b) Caratterizzazione puntuale**

Questo tipo di caratterizzazione è di solito programmato nell'ambito di indagini mirate e localizzate, non estensive, quando le problematiche geotecniche sono state già sostanzialmente individuate o le zone di intervento sono abbastanza circoscritte.

Compatibilmente con i tempi a disposizione, di norma sarebbe da prevedersi la definizione sistematica dei dati utili per precisare la classificazione geotecnica dei terreni investigati; le prove da eseguire sono corrispondentemente le determinazioni delle caratteristiche di: umidità e peso di volume naturale, plasticità (limiti di Atterberg), composizione granulometrica. Le determinazioni del peso specifico dei grani solidi sono da raccomandarsi a corredo delle prove meccaniche relativamente più sofisticate.

Il programma dell'attività di laboratorio è condizionato dal tipo dei campioni

disponibili; pertanto la massima attenzione sarà rivolta ai campioni indisturbati nelle migliori condizioni (ed in particolare ai campioni cubici) che siano significativi per la valutazione del comportamento dei terreni nelle condizioni di sollecitazione previste.

Per la caratterizzazione puntuale, la definizione della resistenza iniziale (in termini di sforzi totali) è da intendersi pressoché alla stregua di un dato di classificazione; è quindi raccomandato che le corrispondenti prove, ove attendibili, siano programmate sistematicamente.

Qualora le condizioni di sollecitazione dei terreni siano appunto già chiaramente individuate, le prove meccaniche verranno previste in modo che siano funzionali alla determinazione dei parametri geotecnici che si ritiene governino principalmente il comportamento dei terreni stessi (ad esempio: nel caso di problemi di deformabilità e consolidazione saranno da prevedersi prove edometriche, eventualmente anche con specifiche procedure per valutare potenzialità di rigonfiamento o di collapsabilità; nel caso di problemi di resistenza a breve termine saranno da prevedersi prove di resistenza al taglio rapide, anche più sofisticate; nel caso di problemi di resistenza a medio e lungo termine saranno da prevedersi prove di resistenza al taglio con definizione in termini di sforzi efficaci; nel caso di problemi di terreni già smossi o in movimento saranno da prevedersi prove per la valutazione della resistenza residua). E' però importante che, nella programmazione delle prove, l'indagine circa le proprietà considerate prevalenti non escluda la valutazione, almeno rappresentativa, anche delle altre fondamentali proprietà dei terreni che possono fornire un corredo o un termine di confronto per la stima complessiva delle caratteristiche dei materiali esaminati.

Quando invece il problema geotecnico è definito solo in termini di localizzazione sarà opportuno individuare almeno gli intervalli di profondità di maggior interesse. In questo caso la programmazione delle prove

meccaniche sarà piuttosto condizionata dalla natura dei terreni considerati; le prove saranno finalizzate ad una valutazione generale delle proprietà dei terreni e pertanto contempleranno sia le caratteristiche di deformabilità in condizioni di rigido confinamento laterale che le caratteristiche di resistenza al taglio (in termini di sforzi totali e in termini di sforzi efficaci). A meno di locali problematiche particolari si opererà prevalentemente sui materiali relativamente più coesivi; nella eventualità di non disporre di campioni in buone condizioni è opportuno che venga programmata almeno qualche prova rappresentativa per la misura della resistenza al taglio residua su provini ricostituiti, in modo da poter ottenere quanto meno qualche indicazione circa le proprietà di resistenza intrinseca dei materiali.

In generale è raccomandato che il programma di apertura dei campioni sia stabilito tenendo conto delle informazioni stratigrafiche disponibili; è infatti opportuno che l'attività intrapresa sia funzionale alla caratteristica (o alle caratteristiche) dei terreni che si prevede di determinare; a tal fine, a fronte del programma ricevuto e delle stratigrafie dei prelievi, si predisporranno per le operazioni due o più campioni, in modo da poter scegliere ed intraprendere le prove col criterio della massima significatività e rappresentatività in rapporto allo strato di terreno considerato.

### **5.3.5 Criteri di descrizione e di scelta critica delle prove da eseguire**

#### **Descrizione dei campioni**

All'atto dell'apertura dei campioni si provvederà alla descrizione preliminare dei terreni rappresentati; tale descrizione verrà effettuata con criteri geotecnici sulla base di esami visivi e manuali.

I termini adottati saranno quelli convenzionali, di: argilla, limo, sabbia, ghiaia, ciottoli, e la corrispondente terminologia intermedia.

Verrà identificata la componente del terreno che si valuta come più significativa dal punto di vista del comportamento geotecnico del terreno.

Nel caso di materiali granulari o con prevalente componente granulare si formulerà una descrizione basata sulla valutazione delle proporzioni stimabili delle varie classi granulometriche presenti (con riferimento al termine del 50% per valutare la predominanza di una componente).

Verranno quindi indicate le componenti subordinate del terreno.

Si fornirà una definizione della colorazione prevalente del campione (ove specificamente richiesto si farà riferimento alla definizione colorimetrica secondo le Munsell Colour Charts).

Nel caso in cui il campione sia costituito da parti significativamente differenziabili si provvederà alla descrizione di ogni singola parte distinta con gli stessi criteri sopra indicati.

Si provvederà infine a segnalare ogni ulteriore particolarità rilevabile ed utile per la caratterizzazione del terreno, sia dal punto di vista delle proprietà geotecniche che dal punto di vista della correlabilità stratigrafica. A titolo di esempio, le particolarità che sono da segnalare possono essere collegate a:

- natura del materiale	(materiale organico, materiale calcareo rilevato dalla reazione di effervescenza all'acido cloridrico diluito, ecc.);
- colorazione	(zone di diverso colore, venature ossidate, ecc.);
- elementi anomali	(resti animali o vegetali, quali conchiglie o radici, evidenti elementi minerali, quali mica-gesso-pomice, grossi inclusi litici, ecc.);
- sintomi di struttura del terreno	(scagliosità, laminazione, fitte alternanze, ecc.);
- aspetto della componente più grossolana	(forma prevalente, eventuale valutazione della natura geologica, ecc);
- condizioni attribuibili	(rimescolamento, fratturazione fresca, presenza di fanghi di al prelievo perforazione, ecc.);
- odore	
- eccetera.	



### **Scelta critica delle prove da eseguire**

L'attività di laboratorio verrà eseguita basandosi fundamentalmente sul programma di prove indicato. Nell'intraprendere le prove è però raccomandato che i responsabili del laboratorio attuino una valutazione critica della eseguibilità delle analisi, delle determinazioni e delle prove previste; tale valutazione è da effettuarsi tenendo conto del fatto che la finalità da perseguire è quella di fornire dati significativi e rappresentativi (dal punto di vista geotecnico), in funzione della natura dei terreni investigati e delle necessità progettuali, e compatibilmente con il tipo e le condizioni dei campioni disponibili.

Sui campioni rimaneggiati potranno essere eseguite solo alcune determinazioni delle caratteristiche fisiche che non vengono alterate da modalità di prelievo non molto accurate come, ad esempio: analisi granulometrica, determinazione delle caratteristiche di plasticità (limiti di Atterberg), determinazione del peso specifico dei grani, eventualmente misura della umidità.

In linea di massima l'esecuzione delle prove meccaniche, cioè delle prove per la determinazione delle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni, sarà riservata ai campioni indisturbati o, in qualche caso, ai campioni a limitato disturbo. Conseguentemente, all'atto dell'apertura e della descrizione preliminare del campione sarà cura dei responsabili di laboratorio di formulare anche una valutazione delle condizioni del materiale nella prospettiva, appunto, di poter intraprendere delle prove meccaniche che descrivano attendibilmente le proprietà naturali del terreno; tale valutazione verrà effettuata sulla base delle modalità di prelievo (ove note), di una stima della consistenza del materiale (effettuata, nel caso di materiali coesivi o con sensibile componente coesiva, con l'ausilio anche di strumenti quali il pocket penetrometer ed il torvane), di una definizione dell'omogeneità del materiale (espressa, ove opportuno, asportando le parti più superficiali del campione, notoriamente più danneggiate dalle procedure di prelievo), e di ogni ulteriore considerazione utile per confrontare lo stato del campione con lo stato del terreno nelle sue condizioni in sito. Queste osservazioni

dovranno essere sinteticamente presentate a corredo della descrizione del campione, eventualmente integrandole con le altre possibili rilevazioni deducibili al momento della selezione dei materiali delle prove e della preparazione dei provini; da esse inoltre dovrà discendere l'attribuzione dello stato del campione ad una categoria di qualità che giustifichi la valutazione sulla attendibilità dei risultati delle prove scelte e realizzate. Anche questa valutazione della qualità delle condizioni del campione ai fini della attendibilità delle determinazioni (sempre con criteri geotecnici), oltre alla segnalazione della parte di campione interessata (nel caso di campioni non omogenei e differenziabili), dovrà essere indicata a corredo della documentazione del campione e/o delle prove.

Lo stato del campione in vista della esecuzione delle prove potrà essere definito nel modo ritenuto più esauriente dai responsabili del laboratorio; a titolo di esempio esso potrà essere riferito a tre categorie basilari: condizioni buone (A), condizioni mediocri (B), condizioni cattive (C). In linea di massima, e, a meno di vincolanti prescrizioni di programma, le prove eseguibili in funzione delle condizioni dei campioni potranno essere:

- A) prove meccaniche sensibilmente sofisticate o da eseguire su provini in serie; e tutte le prove in generale;
- B) prove meccaniche più convenzionali o eseguibili su provini singoli; e tutte le prove di determinazione delle caratteristiche fisiche;
- C) prove per la determinazione delle caratteristiche fisiche, con gli stessi criteri dei campioni non indisturbati (rimaneggiati).

Infine, nella scelta critica delle prove da eseguire si dovrà tenere conto anche delle dimensioni previste per i provini da confezionare, in particolare nel caso delle prove su serie di provini che necessitano di una elevata uniformità del campione.

### **5.3.6 Esami ed analisi per la determinazione delle caratteristiche fisiche**

Di seguito sono elencate le attività di laboratorio previste per la determinazione delle caratteristiche fisiche di campioni di terre.

Per ciascuna attività, individuata da un codice di posizione, è stata predisposta una scheda riassuntiva che, in forma schematica, illustra quanto segue:

- contenuto tecnico
- riferimenti
- documentazione e dati richiesti.

- a) Elenco degli esami e delle analisi per la determinazione delle caratteristiche fisiche di campioni di terre

Posizione	Descrizione dell'attività (denominazione)
TF1	Apertura e descrizione di campioni indisturbati o a limitato disturbo, alloggiati in fustelle cilindriche
TF2	Apertura e descrizione di campioni indisturbati cubici
TF3	Apertura e descrizione di campioni non indisturbati (rimaneggiati)
TF4	Fotografia di campione
TF5	Determinazione del contenuto in acqua (umidità)
TF6	Determinazione della massa volumica apparente o del peso di volume (densità) mediante fustella tarata
TF7	Determinazione della massa volumica apparente o del peso di volume (densità) su provino regolarizzato e/o paraffinato, per pesata idrostatica o spostamento d'acqua
TF8	Determinazione dei limiti di Atterberg (limite di liquidità e limite di plasticità)
TF9	Determinazione del limite di ritiro
TF10	Analisi granulometrica per vagliatura, con trattamento per via umida, su quantità $\leq 3$ Kg
TF11	Determinazione del quantitativo passante/trattenuto ad un singolo vaglio, con trattamento per via umida, su quantità $\leq 3$ Kg
TF12	Analisi granulometrica per vagliatura, con trattamento per via umida, su quantità $> 3$ Kg
TF13	Analisi granulometrica per vagliatura, solo con trattamento a secco, su quantità $> 3$ Kg
TF14	Analisi granulometrica della frazione fine per sedimentazione (aerometria-densimetria)
TF15	Determinazione del peso specifico dei grani

- b) Schede esami ed analisi per la determinazione delle caratteristiche fisiche di campioni di terre (TF).

## **POSIZIONE TF1**

-----

## **DENOMINAZIONE**

Apertura e descrizione di campioni indisturbati o a limitato disturbo, alloggiati in fustelle cilindriche.

-----

## **CONTENUTO TECNICO**

Estrazione con minimizzazione del disturbo (è raccomandato l'impiego di un'estrusore idraulico, se necessaria una notevole spinta) di un campione di terreno alloggiato in fustella cilindrica; scotatura e ripulitura delle estremità del campione (se opportuna); descrizione geotecnica visiva-manuale del campione; eventuale valutazione della consistenza del materiale mediante pocket penetrometer e/o torvane; stima delle condizioni del campione; indicazione delle prove previste per il singolo campione (o per le parti di campione eventualmente distinte).

-----

## **RIFERIMENTI**

Punto 4.2.5.

-----

## **DOCUMENTAZIONE**

Modulo compilato in cui siano riportati i risultati delle operazioni eseguite, le osservazioni effettuate, l'indicazione delle prove previste.

-----



## **POSIZIONE TF2**

-----

## **DENOMINAZIONE**

Apertura e descrizione di campioni indisturbati cubici.

-----

## **CONTENUTO TECNICO**

Estrazione con minimizzazione del disturbo (mediante smantellamento della cassetta di alloggiamento) di un campione di terreno indisturbato cubico prelevato manualmente; ripulitura, descrizione geotecnica, indicazione delle prove, e ogni altra operazione utile per evidenziare le caratteristiche del campione, in analogia con quanto indicato nella posizione TF1.

-----

## **RIFERIMENTI**

Punto 4.2.5

Posizione TF1

-----

## **DOCUMENTAZIONE**

Modulo compilato in cui siano riportati i risultati delle operazioni eseguite, le osservazioni effettuate, l'indicazione delle prove previste.

-----



### **POSIZIONE TF3**

-----

### **DENOMINAZIONE**

Apertura e descrizione di campioni non indisturbati (rimaneggiati).

-----

### **CONTENUTO TECNICO**

Estrazione dal contenitore di un campione di terreno non indisturbato (alloggiato ad esempio in sacchetto, barattolo, vasetto, ecc.); descrizione geotecnica, visiva-manuale del campione; indicazione delle prove previste.

-----

### **RIFERIMENTI**

Punto 4.2.5

-----

### **DOCUMENTAZIONE**

Modulo, anche riassuntivo, in cui sia riportata la descrizione geotecnica e l'indicazione delle prove previste.

-----



## **POSIZIONE TF4**

-----

## **DENOMINAZIONE**

Fotografia di campione.

-----

## **CONTENUTO TECNICO**

Ripresa fotografica a colori di un campione di terreno estratto dal suo contenitore; si raccomanda che nella fotografia l'immagine del campione risulti nitida e ben leggibile, che in essa compaia una scala colorimetrica di agevole reperibilità (ad esempio: scala colorimetrica Kodak, Munsell Colour Chart, ecc.) e che, ove opportuno, siano identificate la parte alta e bassa del campione.

-----

-----

## **DOCUMENTAZIONE**

Modulo contenente l'immagine fotografica a colori del campione.

-----



## **POSIZIONE TF5**

-----

## **DENOMINAZIONE**

Determinazione del contenuto in acqua (umidità).

-----

## **CONTENUTO TECNICO**

Determinazione del contenuto d'acqua di un terreno, ricavato per differenza fra peso umido e peso secco e riferito al peso secco, ottenuto per essiccamento in forno termostato a 105°C.

-----

## **RIFERIMENTI**

CNR-UNI 10008

ASTM D 2216-92

BS 1377 : 1975, TEST 1 (A)

-----

## **DOCUMENTAZIONE**

Valore percentuale espresso con la prima cifra decimale; per materiali omogenei il valore può esprimere la media di più valori ottenuti sul campione; per materiali significativamente disomogenei il valore deve essere riferito alla parte di campione distinta.

Documentazione delle pesate.

-----

## POSIZIONE TF6

-----

## DENOMINAZIONE

Determinazione della massa volumica apparente o del peso di volume (densità) mediante fustella tarata.

-----

## CONTENUTO TECNICO

Determinazione della densità di un terreno, ricavata come rapporto fra pesata del materiale ed il suo volume, predeterminato, ottenuto su provini cilindrici confezionati mediante trimming, fustellatura e regolarizzazione, impiegando una fustella di volume noto.

-----

## RIFERIMENTI

CNR-BU N.62

ASTM D 1188

BS 1377 : 1975, TEST 15(E)

BS 1377 : 1975, TEST 15(F)

-----

## DOCUMENTAZIONE

Valore espresso in  $\text{gr/cm}^3$ , con la definizione della seconda cifra decimale o in  $\text{N/m}^3$ , come numero intero; per materiali omogenei il valore può esprimere la media di più valori ottenuti sul campione; per materiali significativamente disomogenei il valore deve essere riferito alla parte di campione distinta.

Documentazione delle dimensioni dei provini e delle relative pesate.

-----

## **POSIZIONE TF7**

-----

## **DENOMINAZIONE**

Determinazione della massa volumica apparente o del peso di volume (densità) su provino regolarizzato e/o paraffinato, per pesata idrostatica o spostamento d'acqua.

-----

## **CONTENUTO TECNICO**

Determinazione della densità di un terreno, ricavata come rapporto fra la pesata del materiale ed il suo volume, determinato col metodo della pesata in acqua o col metodo dello spostamento d'acqua.

-----

## **RIFERIMENTI**

Posizione TF6

-----

## **DOCUMENTAZIONE**

Valore espresso in  $\text{gr/cm}^3$ , con la definizione della seconda cifra decimale o in  $\text{N/m}^3$ , come numero intero; per materiali omogenei il valore può esprimere la media di più valori ottenuti sul campione; per materiali significativamente disomogenei il valore deve essere riferito alla parte di campione distinta.

Documentazione delle diverse pesate.

-----

## POSIZIONE TF8

-----

## DENOMINAZIONE

Determinazione dei limiti di Atterberg (Limite di liquidità e limite di plasticità).

-----

## CONTENUTO TECNICO

Determinazioni delle condizioni limite di liquidità e di plasticità (congiuntamente) di un terreno, eseguite con le attrezzature ed in accordo con le metodologie previste dagli standards, espresse in termini di contenuto in acqua (umidità).

Per la determinazione del limite di liquidità è raccomandata l'esecuzione di almeno tre punti. Nel caso di adozione del metodo del punto singolo ciò deve essere chiaramente evidenziato.

-----

## RIFERIMENTI

CNR-UNI 10014/1964

ASTM D 4318

BS1377 : 1975, TEST 2 (B)

BS1377 : 1975, TEST 2 (C)

Posizione TF5

-----

## DOCUMENTAZIONE

Coppia di valori percentuali espressi con la prima cifra decimale; nel caso di esito negativo di una o di entrambe le determinazioni si indicherà il singolo valore ottenuto o nessun valore, con la notazione "materiale non plastico".

Documentazione delle determinazioni.

-----

## **POSIZIONE TF9**

-----

## **DENOMINAZIONE**

Determinazione del limite di ritiro.

-----

## **CONTENUTO TECNICO**

Determinazione del contenuto d'acqua (umidità) al quale un terreno in via di essiccamento smette di ritirarsi, rimane cioè a volume costante.

Il limite di ritiro è assunto come il quantitativo d'acqua necessario per riempire tutti i vuoti di un terreno nelle sue condizioni di minimo indice dei vuoti, ottenuto per essiccamento in forno, con corrispondente misura del volume raggiunto.

-----

## **RIFERIMENTI**

CNR-UNI 10014/1964

ASTM D 427

ASTM D 4943

Posizione TF5

-----

## **DOCUMENTAZIONE**

Valore percentuale espresso con la prima cifra decimale, media di due determinazioni.

Documentazione delle determinazioni.

-----

## POSIZIONE TF10

-----

## DENOMINAZIONE

Analisi granulometrica per vagliatura, con trattamento per via umida, su quantità  $\leq 3$  Kg.

-----

## CONTENUTO TECNICO

Determinazione della composizione granulometrica della frazione di terreno trattenuta al vaglio n. 200 o n. 230 ASTM, eseguita per vagliatura, con trattamento per via umida in fase preliminare o in fase operativa; l'attività comprende anche la preparazione del materiale. E' prescritto che il numero di vagli utilizzati sia almeno equivalente a quelli previsti, in funzione delle dimensioni massime dei grani, per la definizione dell'assortimento secondo la serie UNI-AGI o secondo la serie ASTM uniformemente spaziata.

-----

## RIFERIMENTI

CNR-BU N. 23

UNI 8520/5

ASTM D 422

BS1377 : 1975 TEST 7 (A)

BS1377 : 1975 TEST 7 (B)

BS1377 : 1975 TEST 7 (D)

-----

## DOCUMENTAZIONE

Tracciamento dei valori ottenuti, come percentuali ponderali espresse con numero intero, nel convenzionale diagramma semilogaritmico (% in peso rispetto log Ø nominale) e tabella corrispondente.

Documentazione dei procedimenti e delle determinazioni eseguite.

-----



## **POSIZIONE TF11**

-----

## **DENOMINAZIONE**

Determinazione del quantitativo passante/trattenuto ad un singolo vaglio, con trattamento per via umida, su quantità  $\leq 3$  Kg.

-----

## **CONTENUTO TECNICO**

Determinazione della percentuale ponderale della porzione di terreno passante/trattenuta ad un singolo vaglio predeterminato, mediante lavaggio manuale del materiale al vaglio prescelto.

-----

## **RIFERIMENTI**

Posizione TF10

-----

## **DOCUMENTAZIONE**

Valore percentuale, espresso con la prima cifra decimale, riferito al peso complessivo del materiale essiccato.

Documentazione della determinazione.

-----



## **POSIZIONE TF12**

-----

## **DENOMINAZIONE**

Analisi granulometrica per vagliatura, con trattamento per via umida, su quantità > 3 Kg.

-----

## **CONTENUTO TECNICO**

v. Posizione TF10

La metodologia in argomento è raccomandata per terreni con contenuto in materiale fine (passante al vaglio n. 200 o n. 220 ASTM)  $\geq 10\%$ .

-----

## **RIFERIMENTI**

Posizione TF10

-----

## **DOCUMENTAZIONE**

v. PosizioneTF10

-----





## **POSIZIONE TF13**

-----

## **DENOMINAZIONE**

Analisi granulometrica per vagliatura, solo con trattamento a secco, su quantità > 3 Kg.

-----

## **CONTENUTO TECNICO**

v. Posizione TF10

E' raccomandato che la metodologia in argomento, che contempla il trattamento del materiale solo in condizioni secche, sia applicabile limitatamente al caso in cui il terreno presenti un contenuto di materiale fine (passante al vaglio n. 200 o n. 230 ASTM) < 10%.

-----

## **RIFERIMENTI**

Posizione TF10

-----

## **DOCUMENTAZIONE**

v. Posizione TF10

-----

## POSIZIONE TF14

-----

## DENOMINAZIONE

Analisi granulometrica della frazione fine per sedimentazione (aerometria-densimetria).

-----

## CONTENUTO TECNICO

Analisi granulometrica della porzione di terreno fine, passante al vaglio n. 200 o n. 230 ASTM, ottenuta mediante misure effettuate nel corso di un processo di sedimentazione in acqua, realizzate con aerometro-densimetro. L'elaborazione della prova viene espressa in termini di percentuali ponderali rispetto al materiale secco complessivo definite in corrispondenza dei diametri nominali delle particelle. La determinazione deve essere effettuata con almeno 5 misure e deve consentire la definizione (anche per interpolazione) della percentuale corrispondente al diametro nominale di 0.002 mm.

Il procedimento non comprende la determinazione del peso specifico dei grani, da determinare con le modalità previste.

Si raccomanda che, ove possibile, l'analisi granulometrica per sedimentazione in argomento sia realizzata, ad integrazione dell'analisi granulometrica per vagliatura, almeno nei casi in cui la presenza della frazione fine nel terreno sia  $\geq 25\%$ .

-----

## RIFERIMENTI

Posizione TF10

-----

## DOCUMENTAZIONE

v. Posizione TF10

-----

## POSIZIONE TF15

-----

## DENOMINAZIONE

Determinazione del peso specifico dei grani.

-----

## CONTENUTO TECNICO

Determinazione del peso specifico dei grani solidi costituenti un terreno non grossolano ottenuta, col metodo del picnometro calibrato, come valore medio risultante dall'esecuzione di almeno due prove o tre, quando lo scarto delle due misure è superiore a 0.01 sullo stesso materiale. Come peso specifico è da intendersi il rapporto, ad una certa temperatura, fra la massa di un volume unitario di materiale e la massa dello stesso volume di acqua distillata disaerata; ottenuto per spostamento d'acqua, con pesate di precisione e con misura della temperatura nelle condizioni operative. Sono considerati grani solidi di un terreno le minute particelle (in linea di massima minerali) in cui può essere ridotto il materiale, che possono essere ritenute poco o non solubili in acqua e prive di vuoti non strutturali.

-----

## RIFERIMENTI

CNR-UNI 10013/1964

ASTM D 854

BS1377 : 1975, TEST 6 (B)

-----

## DOCUMENTAZIONE

Valore espresso con tre cifre decimali ottenuto come media di almeno due determinazioni

Documentazione delle determinazioni effettuate

### 5.3.7 Prove di laboratorio per la determinazione delle caratteristiche fisico-meccaniche

Di seguito sono elencate le attività di laboratorio previste per la determinazione delle caratteristiche fisico-meccaniche di campioni di terre.

Per ciascuna attività, individuata da un codice di posizione, è stata predisposta una scheda riassuntiva che, in forma schematica, illustra quanto segue:

- contenuto tecnico
- riferimenti
- documentazione e dati richiesti.

Elenco delle prove, per la determinazioni delle caratteristiche fisico-meccaniche di campioni di terre

<i>Posizione</i>	<i>Descrizione dell'attività</i>
	(denominazione)
TM1	Prova edometrica a gradini di carico (IL), completa
TM2	Determinazione dei coefficienti $C_v$ e $K$ nel corso di prove edometriche (IL)
TM3	Prova edometrica a velocità di deformazione imposta (CRS), completa
TM4	Realizzazione di un singolo gradino di pressione o raggiungimento di un particolare livello di pressione in apparecchiatura edometrica
TM5	Permanenza protratta di un singolo livello di pressione in apparecchiatura edometrica
TM6	Prova "Vane Test", con misura della resistenza residua
TM7	Prova di compressione monoassiale (ad espansione laterale libera)
TM8	Prova triassiale, non consolidata-non drenata

<i>Posizione</i>	<i>Descrizione dell'attività</i>
TM9	Prova triassiale, consolidata isotropicamente-non drenata, con back-pressure
TM10	Prova triassiale, consolidata isotropicamente-drenata, con back pressure
TM11	Prova di taglio diretto, consolidata-drenata
TM12	Prova di taglio diretto, consolidata-drenata, residua
TM13	Prova di taglio anulare su materia ricostituito (residua)
TM14	Determinazione di permeabilità per via diretta, a carico idraulico costante o variabile, nell'ambito di prove già predisposte
TM15	Determinazione di permeabilità per via diretta, a carico idraulico costante o variabile, appositamente predisposta
TM16	Prova di compattazione Proctor Standard
TM17	Prova di compattazione Proctor Modificato
TM18	Preparazione materiale o preparazione provini in condizioni particolari

Schede prove per la determinazione delle caratteristiche fisico-meccaniche di campioni di terre (TM).

-----

## POSIZIONE TM1

-----

## DENOMINAZIONE

Prova edometrica a gradini di carico (IL), completa.

-----

## CONTENUTO TECNICO

Prova di compressione edometrica condotta a gradini di carico finiti e predeterminati, su provino di diametro non inferiore a 50 mm controllato nelle condizioni iniziali; comprensiva della preparazione del provino e di un percorso di carico e di un percorso di scarico; con durata di permanenza di ciascun carico fino a 24 ore; con pressione massima tale da determinare il tratto vergine della curva; con progressione dei gradini di carico finalizzata alla ottimizzazione della definizione della massima curvatura dell'andamento cedimenti-carico, possibilmente con tre punti allineati dopo la massima curvatura; con possibilità di determinazione del parametro  $C_v$  su almeno due intervalli di carico prima della massima curvatura e comunque in corrispondenza dell'intervallo di carico a cui il terreno sarà soggetto in relazione alle caratteristiche dell'opera in progetto. Il numero totale dei gradini di carico applicati deve essere almeno corrispondente a quello della progressione al raddoppio; il numero dei gradini di scarico deve essere almeno pari a 3.

-----

## RIFERIMENTI

ASTM D 2435

BS1377 : 1975, TEST 17

-----

## DOCUMENTAZIONE



Tracciamento almeno del grafico  $\delta_h \cdot \log_p$  e calcolo di almeno 5 valori del modulo edometrico a 24 ore.

Indicazione delle dimensioni e delle caratteristiche fisiche iniziali e finali del provino e la segnalazione della durata complessiva della prova.

Definizione delle caratteristiche di classificazione geotecnica del materiale considerato.

Tabelle riepilogative di dati di carico, deformazione e tempi rilevati.

-----

**POSIZIONE TM2**

-----

**DENOMINAZIONE**

Determinazione dei coefficienti  $C_v$  e  $K$  nel corso di prove edometriche IL.

-----

**CONTENUTO TECNICO**

Determinazione dei coefficienti  $C_v$  e  $K$  nel corso di prove edometriche a gradini di carico, ovvero, più in generale, rilevazione e restituzione grafica dell'andamento deformazioni/tempo ad un livello di carico costante e permanente per un periodo di tempo dell'ordine delle 24 ore.

La determinazione dei coefficienti  $C_v$  e  $K$  è da effettuarsi per livelli di carico e cedimenti significativi gli incrementi carico in corrispondenza dei quali è realizzabile la determinazione sono quelli nei quali si raggiunge un valore di pressione pari ad almeno il doppio del valore imposto nel livello di carico precedente.

E' raccomandato che la rilevazione delle deformazioni sia eseguita indicativamente secondo una progressione temporale geometrica.

-----

**RIFERIMENTI**

ASTM D 2435

BS1377 : 1975, TEST 17

-----





## **DOCUMENTAZIONE**

Tracciamento, con evidenza dei punti rilevati, della curva  $\delta_H$ -log t e/o della curva H-Vt (con calcolo dei valori di Cv e K) e tabella corrispondente.

Moduli riepilogativi del procedimento di rilevazione seguito.

-----

## POSIZIONE TM3

-----

## DENOMINAZIONE

Prova edometrica a velocità di deformazione imposta (CRS), completa.

-----

## CONTENUTO TECNICO

Prova di compressione edometrica, condotta a carico continuo a velocità di deformazione imposta, su provino di diametro non inferiore a 50 mm; comprensiva della preparazione del provino e di un percorso di carico e di un percorso di scarico (eventualmente, se richiesto, con almeno 3 decrementi di carico finiti); con applicazione di back-pressure; con controllo delle pressioni interstiziali; con progressione del carico finalizzata alla ottimizzazione della definizione della massima curvatura dell'andamento cedimento-carico e quindi possibilmente con individuazione dell'andamento lineare dopo la massima curvatura; con pressione efficace massima complessiva fino a 8 N/mm<sup>2</sup> (o misura equivalente) dopo la massima curvatura; con determinazione di almeno 10 valori del coefficiente  $C_v$  e del modulo edometrico.

-----

## RIFERIMENTI

ASTM D 4186

-----

## DOCUMENTAZIONE

Tracciamento almeno del grafico  $H\text{-log } p'$ , e tracciamento dei valori di  $C_v$  e del modulo edometrico in funzione del carico.

Indicazione delle dimensioni e delle caratteristiche fisiche iniziali e finali del provino, della velocità adottata in carico, della back-pressure applicata, della durata complessiva



della prova. Definizione delle caratteristiche di classificazione geotecnica del materiale considerato.

Tabelle riepilogative dei dati di carico, deformazioni, pressione interstiziale e tempi rilevati.

-----

## **POSIZIONE TM4**

-----

## **DENOMINAZIONE**

Realizzazione di un singolo gradino di pressione o raggiungimento di un particolare livello di pressione in apparecchiatura edometrica.

-----

## **CONTENUTO TECNICO**

Applicazione ad un provino in apparecchiatura edometrica di un gradino o di un livello di carico o di scarico significativo e non contemplato da procedure già stabilite ed imposto per le finalità indicate in "Nota" comprensivo della preparazione del provino e con durata di permanenza di ciascun carico fino a 24 ore.

-----

## **RIFERIMENTI**

Posizione TM1            (ove applicabile)

Posizione TM2

Posizione TM3

-----

## **DOCUMENTAZIONE**

Tracciamento della deformazione in funzione del carico applicato.

Segnalazione delle condizioni di prova (se particolari) e indicazione delle caratteristiche fisiche iniziali e finali del provino (ove non già previsto).

Definizione delle caratteristiche di classificazione geotecnica del materiale considerato (ove non già prevista).

Tabelle riepilogative di dati di carico, deformazione e tempi rilevati.

-----

## **NOTA**

Nel caso di specifiche problematiche progettuali o di particolarità della natura dei terreni o delle condizioni dei campioni, può essere richiesto di sottoporre un provino a specifiche misure realizzate in condizioni di rigido confinamento laterale (cioè in apparecchiature edometriche) con imposizione di progressioni di carico o scarico in particolari condizioni o con permanenza dei carichi applicati per periodi di tempo non convenzionali.

A titolo di esempio si possono segnalare: il raggiungimento di livelli di carico molto elevati e non già previsti dalle procedure di prova edometrica, la realizzazione di percorsi di scarico e/o carico aggiuntivi e parimenti non già previsti, l'esecuzione di prove per valutare le proprietà di rigonfiamento, l'adozione di metodologie per definire l'eventuale collassabilità del terreno. Le corrispondenti procedure non hanno sempre una definizione unanimemente precisata e conseguentemente standardizzata; il laboratorio agirà pertanto o concordando le metodologie operative col progettista geotecnico od operando in modo da fornire i dati più significativi e più controllati possibile, in modo da raggiungere con la massima affidabilità gli obiettivi indicati.



-----

## POSIZIONE TM5

-----

## DENOMINAZIONE

Permanenza protratta di un singolo livello di pressione in apparecchiatura edometrica.

-----

## CONTENUTO TECNICO

Mantenimento dell'applicazione, ad un provino già predisposto in apparecchiatura edometrica, di un gradino o di un livello di carico o di scarico significativo per un intervallo di tempo superiore al già previsto periodo di permanenza fino a 24 ore.

-----

## RIFERIMENTI

Posizione TM4

-----

## DOCUMENTAZIONE

Tracciamento della deformazione in funzione del tempo a carico costante.

Tabelle riepilogative di dati di carico, deformazione e tempi rilevati.

-----

## NOTA

Posizione TM4

-----

**POSIZIONE TM6**

-----

**DENOMINAZIONE**

Prova "Vane Test", con misura della resistenza residua.

-----

**CONTENUTO TECNICO**

Prova di taglio con scissometro da laboratorio (Vane Test), per la determinazione della resistenza in termini di sforzi totali, su terreni coesivi, con carico di rottura entro 0.25 N/mm<sup>2</sup> (o misura equivalente), con misura anche della resistenza residua dopo deformazione angolare superiore a 360°; compresa la predisposizione del provino.

-----

**RIFERIMENTI**

ASTMD1558

BS1377 : 1975, TEST 18

-----

**DOCUMENTAZIONE**

Coppia di valori misurati: resistenza massima e resistenza residua, espresse in N/mm<sup>2</sup> con l'indicazione di due cifre decimali (o misura equivalente).

Documentazione delle determinazioni effettuate con indicazioni delle dimensioni delle palette dello strumento, deformazione angolare e sforzo misurato.



-----

## POSIZIONE TM7

-----

## DENOMINAZIONE

Prova di compressione monoassiale (ad espansione laterale libera).

-----

## CONTENUTO TECNICO

Prova di compressione semplice non confinata, per la determinazione della resistenza in termini di sforzi totali, eseguita su provino con diametro minimo pari a 35 mm, con lubrificazione delle superfici di appoggio, con il solo rilievo del carico di rottura e della deformazione corrispondente, fino a carichi di rottura entro  $0.8 \text{ N/mm}^2$  (o misura equivalente); compresa la preparazione del provino.

E' raccomandato un rapporto altezza/diametro pari a 2; è ammesso un rapporto minimo altezza/diametro pari ad 1, che sia giustificato dalla natura o dalle condizioni del campione.

-----

## RIFERIMENTI

ASTM D 2166

BS1377 : 1975, TEST 20

-----





## **DOCUMENTAZIONE**

Coppia di valori determinati: carico di rottura o carico massimo, espresso in  $\text{N/mm}^2$  con l'indicazione di due decimali (o misura equivalente), e corrispondente deformazione assiale percentuale.

Documentazione delle dimensioni del provino e delle rilevazioni effettuate.

-----

## POSIZIONE TM8

-----

## DENOMINAZIONE

Prova triassiale, non consolidata non drenata.

-----

## CONTENUTO TECNICO

Prova triassiale per la determinazione della resistenza in termini di sforzi totali, realizzata quindi prevenendo la consolidazione dei provini ed imponendo la fase di rottura velocemente e in condizioni non drenate, con lubrificazione delle superfici di appoggio, eseguita su provino con diametro minimo pari a 35 mm; senza saturazione preliminare; condotta a velocità di deformazione imposta e controllata; compresa la preparazione del provino.

E' raccomandato un rapporto altezza/diametro pari a 2; è ammesso un rapporto minimo altezza/diametro pari ad 1, che sia giustificato dalla natura o dalle condizioni del campione.

E' inoltre raccomandato che, se possibile, per ogni campione considerato siano effettuate almeno due prove su due provini a diverse pressioni di confinamento, in funzione dello stato tensionale naturale del terreno.

-----

## RIFERIMENTI

ASTM D 2850

BS1377 : 1975, TEST 21

-----



## **DOCUMENTAZIONE**

Tracciamento della curva sforzi/deformazioni; è richiesta altresì l'indicazione della velocità adottata e delle dimensioni del provino.

Determinazione delle caratteristiche fisiche del provino.

Tabella riepilogativa della successione delle misure di carico e di deformazione.

-----

## POSIZIONE TM9

-----

## DENOMINAZIONE

Prova triassiale, consolidata isotropicamente non drenata, con back-pressure.

-----

## CONTENUTO TECNICO

Prova triassiale per la determinazione della resistenza al taglio in termini di sforzi efficaci, realizzata con applicazione di back-pressure, con prima fase di consolidazione del provino e con fase di rottura in condizioni non drenate, realizzata lentamente per l'equalizzazione delle pressioni nei pori, con misura delle pressioni interstiziali; eseguita su provino con diametro minimo pari a 35 mm e con rapporto altezza/diametro pari a 2; condotta a velocità di deformazione imposta e controllata; compresa la preparazione del provino.

E' richiesto che la prova sia eseguita su almeno tre provini omogenei, a diverse pressioni efficaci di consolidazione in funzione dello stato tensionale naturale del terreno o dello stato di sollecitazione previsto.

-----

## RIFERIMENTI

ASTM D 4767

-----

## DOCUMENTAZIONE

Tracciamento di: curva sforzi/deformazioni, andamento pressioni interstiziali/deformazioni, cerchio di Mohr a rottura.



Indicazione di: dimensioni del provino, umidità finale, condizioni della fase di consolidazione (segnalazione delle pressioni applicate, dei termini per la valutazione della saturazione, delle variazioni volumetriche), velocità imposta nella fase di rottura.

Caratteristiche fisiche dei provini e di classificazione geotecnica del materiale utilizzato.

Tabelle riepilogative dei dati rilevati e presentati, con l'indicazione della successione cronologica dei procedimenti e delle rilevazioni.

-----

**POSIZIONE TM10**

-----

**DENOMINAZIONE**

Prova triassiale, consolidata isotropicamente-drenata, con back-pressure.

-----

**CONTENUTO TECNICO**

Prova triassiale per la determinazione della resistenza al taglio in termini di sforzi efficaci, realizzata con applicazione di back-pressure, con prima fase di consolidazione del provino e con fase di rottura in condizioni drenate, realizzata lentamente per evitare l'instaurarsi di sovrappressioni interstiziali, con misura delle variazioni volumetriche; eseguita su provino con diametro minimo pari a 35 mm e con rapporto altezza/diametro pari a 2; condotta a velocità di deformazione imposta e controllata compresa la preparazione del provino.

E' richiesto che la prova sia eseguita su almeno tre provini omogenei, a diverse pressioni efficaci di consolidazione in funzione dello stato tensionale naturale del terreno o dello stato di sollecitazione previsto.

-----

**RIFERIMENTI**

ASTM D 4767 (ove applicabile)

-----

**DOCUMENTAZIONE**

Tracciamento almeno di: curva sforzi/deformazioni, andamento variazioni volumetriche/deformazioni, cerchio di Mohr a rottura.



Indicazione di: dimensioni del provino, umidità finale, condizioni della fase di consolidazione (segnalazione delle pressioni applicate, dei termini per la valutazione della saturazione, delle variazioni volumetriche), velocità imposta nella fase di rottura.

Caratteristiche fisiche dei provini e classificazione geotecnica del materiale utilizzato.

Tabelle riepilogative dei dati rilevati e presentati, con l'indicazione della successione cronologica dei procedimenti e delle rilevazioni.

-----

## POSIZIONE TM11

-----

## DENOMINAZIONE

Prova di taglio diretto, consolidata-drenata.

-----

## CONTENUTO TECNICO

Prova di taglio diretto per la determinazione della resistenza al taglio in termini di sforzi efficaci, realizzata con apparecchio del tipo "scatola di Casagrande", con prima fase di consolidazione del provino e con fase di rottura in condizioni drenate, realizzata lentamente per evitare l'instaurarsi di sovrappressioni interstiziali; condotta a velocità di deformazione imposta e controllata; compresa la preparazione del provino.

E' raccomandata l'esecuzione su provini cilindrici con diametro minimo pari a 60 mm, o quadrati con lati minimo di 60 mm.

E' richiesto che la prova sia eseguita su almeno tre provini omogenei, a diverse pressioni di consolidazione in funzione dello stato naturale del terreno o dello stato di sollecitazione previsto.

-----

## RIFERIMENTI

ASTM D 3080

-----

## DOCUMENTAZIONE

Tracciamento almeno della curva sforzi/deformazioni; sono richieste altresì almeno le seguenti indicazioni: dimensione del provino, pressione di confinamento applicata, durata del periodo di consolidazione e misura del corrispondente cedimento, velocità imposta per la corsa di taglio.





Definizione delle caratteristiche di classificazione geotecnica del materiale (ove non già prevista).

Determinazioni delle caratteristiche fisiche iniziali del provino e tabelle corrispondenti ai dati rilevati e presentati.

-----

**POSIZIONE TM12**

-----

**DENOMINAZIONE**

Prova di taglio diretto, consolidata-drenata, residua.

-----

**CONTENUTO TECNICO**

Prova di taglio diretto per la determinazione della resistenza al taglio in termini di sforzi efficaci e in condizioni residue, eseguita con apparecchio del tipo "scatola di Casagrande" ed effettuata in successione alla prova indicata alla posizione TM11, con gli stessi criteri.

E' raccomandato che la determinazione sia realizzata portando le due parti del provino a completa disgiunzione, ricomponendo il provino, riassoggettandolo alla stessa pressione di confinamento precedentemente imposta e ripetendo la corsa di taglio rispettando la direzione e il verso di deformazione.

In alternativa la determinazione può essere effettuata realizzando almeno tre cicli di andata e ritorno della corsa di taglio (reversal shear).

Compresa la predisposizione del provino.

-----

**RIFERIMENTI**

Posizione TM11

-----

**DOCUMENTAZIONE**

v. Posizione TM11

-----

## POSIZIONE TM13

-----

## DENOMINAZIONE

Prova di taglio anulare su materiale ricostituito (residua).

-----

## CONTENUTO TECNICO

Prova di taglio anulare per la determinazione della resistenza al taglio in termini di sforzi efficaci e in condizioni residue (resistenza "intrinseca"), eseguita con apparecchio del tipo indicato come "taglio anulare-torsionale" ("ring shear"; in alcuni casi indicato come "apparecchio tipo Bromhead") e realizzata su materiale ricostituito; compresa la predisposizione del materiale.

Il materiale è selezionato come inferiore al diametro nominale di 0.42 mm (passante al vaglio n. 40 ASTM o equivalente); il materiale viene inumidito, rimaneggiato ed omogeneizzato (sempre operando con trattamenti al vaglio n. 40) ed è quindi assemblato nella cella anulare dell'apparecchio. L'apparecchio consente di applicare una pressione di confinamento e di imporre una sollecitazione torsionale.

La prova viene condotta con procedura consolidata-drenata, con imposizione di deformazioni angolari relative molto elevate e fino a poter verificare la stabilizzazione della misura della resistenza.

La determinazione della resistenza residua viene ottenuta realizzando più punti di prova, eseguiti in serie con modalità "multi-stage", a diverse pressioni di confinamento.

E' raccomandata l'esecuzione di almeno quattro punti di prova, a diverse pressioni di confinamento.

-----

## RIFERIMENTI



-----

## **DOCUMENTAZIONE**

v. Posizione TM11 (ove applicabile)

-----

## POSIZIONE TM14

-----

## DENOMINAZIONE

Determinazione di permeabilità per via diretta, a carico idraulico costante o variabile, nell'ambito di prove già predisposte.

-----

## CONTENUTO TECNICO

Determinazione del coefficiente di permeabilità, eseguita su di un provino già altrimenti predisposto per l'esecuzione di una prova, realizzata mediante misura diretta del passaggio di acqua in condizioni di flusso stabilizzato; le misure possono essere eseguite in condizioni di carico idraulico costante o variabile, con il criterio dell'ottimizzazione della determinazione in funzione della natura e dello stato del terreno considerato e del tipo di prova in corso.

E' richiesta una particolare cura nel prevenire il verificarsi di "vie d'acqua" preferenziali (da segnalare ove dovute alla struttura naturale del terreno) e nel garantirsi contro l'indebita perdita o immissione d'acqua nel circuito nel corso della determinazione.

E' raccomandato che venga eseguita più di una determinazione in modo da consentire una valutazione della variabilità del coefficiente di permeabilità al variare delle condizioni imposte al provino.

-----

## RIFERIMENTI

ASTM D 2434 (ove applicabile)

-----

## DOCUMENTAZIONE

Oltre a quanto corrispondentemente previsto per le prove già predisposte, è richiesta la presentazione di un modulo o di una tabella che documenti: le condizioni di prova del provino (ad esempio: pressioni applicate, eventuale back-pressure, ecc.); i necessari dati rilevati nel corso della determinazione (ad esempio: sezione corrente del provino, altezza corrente del provino, intervallo di tempo di misura, carico idraulico costante o carichi idraulici variabili, altezze e sezioni piezometriche, volumetria del passaggio d'acqua, ecc.); valore del coefficiente di permeabilità calcolato in corrispondenza (espresso in cm/s o unità equivalente).



-----

## **POSIZIONE TM15**

-----

### **DENOMINAZIONE**

Determinazione di permeabilità per via diretta, a carico idraulico costante o variabile, appositamente predisposta.

-----

### **CONTENUTO TECNICO**

Determinazione del coefficiente di permeabilità, realizzata mediante misura diretta del passaggio d'acqua in condizioni di flusso stabilizzato, in condizioni di carico idraulico costante o variabile; eseguita su provino appositamente predisposto ed assemblato in cella considerabile come "rigid wall permeameter o "flexible wall permeameter"; comprensiva della preparazione del provino e dell'impiego dell'apparecchiatura.

E' richiesto che vengano eseguite due determinazioni per ogni condizione di prova imposta al provino.

E' raccomandato che vengano eseguite più determinazioni in diverse condizioni di prova del provino, imposte in funzione dello stato naturale del terreno o dello stato di sollecitazione previsto.

-----

### **RIFERIMENTI**

Posizione TM14

-----



## **DOCUMENTAZIONE**

Indicazione delle dimensioni e delle caratteristiche fisiche del provino.

Definizione delle caratteristiche di classificazione geotecnica del materiale.

Oltre a quanto sopra v. Posizione TM14

-----

## POSIZIONE TM16

-----

### DENOMINAZIONE

Prova di compattazione Proctor Standard.

-----

### CONTENUTO TECNICO

Prova per definire la compattabilità di un materiale, consuetamente denominata tipo Proctor o AASHTO Standard, eseguita con energia nominale dell'ordine di  $600 \text{ kNm/m}^3$  (o misura equivalente) in contenitore (mould) del volume di un litro; compresa la predisposizione del materiale, utilizzato nelle sue condizioni originali.

La prova ha lo scopo di descrivere la relazione fra umidità e densità (intesa come peso di volume secco) ottenibile per un materiale mediante l'energia di compattazione prevista, ed in particolare di definire l'addensamento massimo (densità "ottima") realizzabile.

E' richiesto che la prova comprenda la determinazione di almeno 4 punti significativi di densità/umidità.

-----

### RIFERIMENTI

ASTM D 698

BS1377 : 1975, TEST 12

Posizione TF 5

Posizione TF 6

-----

### DOCUMENTAZIONE

Tracciamento della curva densità secca/umidità ovvero peso di volume secco/contenuto d'acqua.

Tabella con l'indicazione dei dati dei punti di prova eseguiti (peso di volume e umidità) e con l'indicazione dei valori "ottimi" definiti; è richiesta anche l'indicazione delle dimensioni del contenitore e dei dati di costipamento corrispondenti alla attrezzatura ed alla metodologia adottata.

Tabelle riepilogative del modulo o dei moduli operativi che documentino le umidità nominali imposte e le pesate complessive effettuate.





-----

**POSIZIONE TM17**

-----

**DENOMINAZIONE**

Prova di compattazione Proctor Modificato.

-----

**CONTENUTO TECNICO**

Prova per definire la compattabilità di un materiale, consuetamente denominata tipo Proctor o AASHTO Modificato, eseguito con energia nominale dell'ordine di 2700 kNm/m<sup>3</sup> (o misura equivalente) in contenitore (mould) del volume di un litro; compresa la predisposizione del materiale, utilizzato nelle sue condizioni originali.

Per i criteri di prova v. Posizione TM16

-----

**RIFERIMENTI**

ASTM D 1557

BS 1377 : 1975, TEST 13

Posizione TM16 (per quanto applicabile)

-----

**DOCUMENTAZIONE**

Analogia a quella prevista alla Posizione TM16

-----



## **POSIZIONE TM18**

-----

## **DENOMINAZIONE**

Preparazione materiale o preparazione provini in condizioni particolari.

-----

## **CONTENUTO TECNICO**

Predisposizione del materiale per l'esecuzione di un punto di prova o confezione di un provino da sottoporre ad una prova; la preparazione particolare può essere effettuata (ove non sia già previsto) partendo dal materiale di uno o più campioni di terreno con correzione o imposizione del contenuto d'acqua e/o della granulometria e/o della densità, per raggiungere specifiche condizioni o caratteristiche richieste, previste o predeterminate. Le operazioni non comprendono eventuali determinazioni (prove di classificazione geotecnica) di verifica, che sono però raccomandate.

-----

## **RIFERIMENTI**

-----

## **DOCUMENTAZIONE**

Indicazione dei procedimenti effettuati e, ove possibile, corrispondente documentazione.

## 5.4 ESAMI GEOTECNICI DI LABORATORIO SU CAMPIONI DI MATERIALI GRANULARI

### 5.4.1 *Prove di laboratorio per la determinazione delle caratteristiche fisico-meccaniche di campioni di materiali granulari*

Di seguito sono elencate le attività di laboratorio previste per la determinazione delle caratteristiche fisico-meccaniche di campioni di materiali granulari. Per ciascuna attività, individuata da un codice di posizione, è stata predisposta una scheda riassuntiva che, in forma schematica, illustra quanto segue:

- contenuto tecnico
- riferimenti
- documentazione e dati richiesti.

- a) Elenco delle prove per la determinazione delle caratteristiche fisico-meccaniche di campioni di materiale granulare

Posizione	Descrizione dell'attività (denominazione)
GM1	Prova di compattazione Proctor Standard su materiale grossolano
GM2	Prova di compattazione Proctor Modificato, su materiale grossolano
GM3	Prova di compressibilità edometrica su materiale granulare
GM4	Prova di compressione triassiale su materiale granulare
GM5	Prova di permeabilità in presenza di materiale saturo

- b) Schede prove per la determinazione delle caratteristiche fisico-meccaniche di campioni di materiali granulari (GM)



## POSIZIONE GM1

-----

## DENOMINAZIONE

Prova di compattazione Proctor Standard su materiale grossolano.

-----

## CONTENUTO TECNICO

Prova per definire la compattabilità di un materiale, consuetamente denominata tipo Proctor o AASHTO Standard, eseguita con energia nominale dell'ordine di  $600 \text{ kNm/m}^3$  (o misura equivalente) in contenitore (mould) avente volume significativamente superiore a un litro in funzione delle dimensioni degli elementi massimi considerati; compresa la predisposizione del materiale, utilizzato nelle sue condizioni originali.

v. Posizione TM16

-----

## RIFERIMENTI

Posizione TM16

-----

## DOCUMENTAZIONE

v. Posizione TM16

-----



## POSIZIONE GM2

-----

## DENOMINAZIONE

Prova di compattazione Proctor Modificato su materiale grossolano.

-----

## CONTENUTO TECNICO

Prova per definire la compatibilità di un materiale, consuetamente denominata tipo Proctor o AASHTO Modificato, eseguita con energia nominale dell'ordine di 2700 kNm/m<sup>3</sup> (o misura equivalente) in contenitore (mould) avente volume significativamente superiore a un litro in funzione delle dimensioni degli elementi massimi considerati; compresa la predisposizione del materiale utilizzato nelle sue condizioni originali.

v. Posizione TM17

-----

## RIFERIMENTI

Posizione TM17

-----

## DOCUMENTAZIONE

v. Posizione TM17

-----

## POSIZIONE GM3

-----

## DENOMINAZIONE

Prova di compressibilità edometrica su materiale granulare.

-----

## CONTENUTO TECNICO

Determinazione delle caratteristiche di deformabilità e di resistenza meccanica di provini di materiale granulare aventi  $\varnothing = 500$  mm e  $h = 100$  mm sottoposti a prove di compressibilità a deformazione laterale impedita.

Tali prove vengono svolte sottoponendo il provino, confezionato con l'ausilio di opportuni vibrator a piastra, a compressione, in controllo di carico, con raggiungimento di livelli di sollecitazione prestabiliti e misurandone gli assestamenti indotti.

Queste condizioni si realizzano grazie all'impiego di una speciale cella anisotropa che, alternando anelli di gomma e di plexiglass, offre una modesta resistenza al carico verticale senza sviluppare resistenza d'attrito tra il materiale e la superficie della cella.

-----

## RIFERIMENTI

Posizione TM1 (ove applicabile)

-----

## DOCUMENTAZIONE

Diagramma degli assestamenti  $\delta h/h$  percentuali in funzione del carico verticale.

Diagramma degli assestamenti a carico costante (ultimo livello di carico).

Documentazione delle determinazioni effettuate.

-----

## POSIZIONE GM4

-----

## DENOMINAZIONE

Prova di compressione triassiale su materiale granulare.

-----

## CONTENUTO TECNICO

Determinazione delle caratteristiche di deformabilità e di resistenza meccanica di provini di materiale granulare aventi  $\varnothing = 500$  mm e  $h = 1.000$  mm, sottoposti a prove di compressione triassiale.

Tali prove vengono svolte sottoponendo il provino confezionato con l'ausilio di opportuni vibrator a piastra, a compressione isotropa fino al raggiungimento del carico di contenimento prefissato, successivamente si incrementa la sola deformazione assiale fino ad accorciamenti corrispondenti al 10% della lunghezza iniziale.

-----

## RIFERIMENTI

-----

## DOCUMENTAZIONE

Diagramma sforzi-deformazioni con rappresentazione delle variazioni di volume e di sezione trasversale media del provino.

Cerchi di Mohr per i valori resistenza max e resistenza residua.

Tabelle riepilogative contenenti dei risultati determinazioni angolo d'attrito del materiale, eventuale coesione, densità apparente e variazioni della porosità durante la prova.

Documentazione delle determinazioni effettuate.



-----

## POSIZIONE GM5

-----

## DENOMINAZIONE

Prova di permeabilità in presenza di materiale saturo.

-----

## CONTENUTO TECNICO

Determinazione del coefficiente di permeabilità  $K$  mediante l'applicazione di una pressione differenziale tra due accumulatori idraulici collegati alle due estremità del provino e conseguente misurazione delle variazioni di livello d'acqua ad intervalli di tempo prefissati in presenza di una sollecitazione verticale costante.

Compresa la preparazione, l'assemblaggio e la saturazione del provino.

E' raccomandata l'esecuzione di più determinazioni su ciascun provino.

-----

## RIFERIMENTI

-----

## DOCUMENTAZIONE

Valore numerico del coefficiente  $K$  espresso in funzione della sollecitazione applicata al campione ed del carico idraulico.

Documentazione delle determinazioni effettuate.

-----



## 5.5 ESAMI GEOTECNICI DI LABORATORIO SU CAMPIONI DI ROCCIA

Di seguito sono elencate le attività di laboratorio previste per la determinazione delle caratteristiche fisico-meccaniche di campioni di roccia. I test comunemente eseguiti sono finalizzati alla determinazione sperimentale di caratteristiche fisiche, caratteristiche di permeabilità, caratteristiche di deformabilità, caratteristiche di resistenza e caratteristiche elastiche di un campione di roccia.

- Prova di compressione a carico concentrato (Point Load Test)
- Prova di taglio su rocce
- Prova triassiale su rocce
- Determinazione del peso di volume
- Porosità su campione di roccia
- Determinazione dell'imbibizione
- Misura della rugosità dei giunti (Pettine di Burton)
- Compressione uniassiale
- Trazione indiretta brasiliana
- Prova di flessione su campione di roccia
- Prove con ultrasuoni su rocce
- Analisi chimica
- Esame mineralogico
- Esame petrografico

## **6 SPECIFICA DI CONTROLLO QUALITA' PER SONDAGGI E PROSPEZIONI**

### **6.1 CONTROLLI PRELIMINARI**

#### **6.1.1 Qualificazione e controlli sul personale**

Il personale addetto alle prospezioni geognostiche dovrà essere qualificato preventivamente da parte del Responsabile di C.Q. dell'Impresa Esecutrice.

In particolare si dovrà verificare che:

- Il Geologo Direttore di Cantiere, che sarà presente ai lavori a tempo pieno e che sarà responsabile dell'esecuzione dei lavori, sia laureato in Geologia ed abilitato all'esercizio della professione e di comprovata esperienza;
- Gli assistenti Geologi rilevatori, che avranno il compito di provvedere all'esatta individuazione e classificazione dei terreni oggetto di indagine nonché alla definizione degli spetti geologici, idrogeologici e geotecnici delle installazioni, delle prove e delle misure in sito, siano in possesso dei seguenti requisiti:
  - laurea in geologia;
  - esperienza specifica alle funzioni richieste risultanti da precedenti attività lavorative di almeno tre anni.

Detta qualificazione sarà certificata, per iscritto e per ogni singolo assistente, dal Geologo Direttore di cantiere.

La notifica del Geologo Direttore di Cantiere, così come i certificati di qualifica dei suoi assistenti, costituiscono documentazione di C.Q. e dovranno esser allegati al dossier di C.Q. della parte di lavoro alla quale hanno partecipato.

### **6.1.2 Controlli e taratura delle attrezzature**

Tutte le attrezzature impiegate nelle singole operazioni di sondaggio o prospezione dovranno essere conformi a quanto indicato e prescritto ai rispettivi punti nella presente Sezione.

Il responsabile di C.Q., prima di accettare l'utilizzo di una specifica attrezzatura dovrà:

- verificarne la suddetta conformità sia mediante misure di verifica, sia mediante il controllo delle specifiche tecniche del costruttore dell'attrezzatura;
- accertare che la stessa sia accompagnata dai previsti certificati di taratura.

Questi certificati, come richiesto nel Capitolato per l'esecuzione delle prove di taratura, saranno rilasciati da laboratori qualificati, o dal Geologo Direttore di cantiere che presenzierà le prove effettuate in situ, rilasciandone l'apposita certificazione.

Le frequenze di taratura e quindi dell'emissione dei relativi certificati sono quelle stabilite nel Capitolato.

Ogni apparecchiatura sarà univocamente rintracciabile con una scheda tecnica che contenga:

- la certificazione di conformità;
- la certificazione di taratura.

Il responsabile di qualità dovrà verificare, prima dell'utilizzo dell'attrezzatura, che la stessa sia corredata della suddetta scheda, corredata dell'ultima certificazione di taratura prevista.

La verifica della scheda sarà annotata sul P.C.Q.

### **6.1.3 Qualificazione dei laboratori**

I laboratori che effettueranno le prove su campioni prelevati durante i sondaggi dovranno essere qualificati dall'Impresa Esecutrice e approvati dalla Direzione Lavori.

L'istruttoria per la qualificazione avverrà a cura del responsabile di C.Q. dell'Impresa Esecutrice, il quale dovrà accertare che il laboratorio sia in possesso dei seguenti requisiti:

- adotti un sistema di identificazione dei campioni conforme a quanto indicato e prescritto nel capitolato relativo agli esami geotecnici di laboratorio;
- disponga di un idoneo sito di stoccaggio dei campioni secondo quanto indicato e prescritto nel capitolato relativo agli esami geotecnici di laboratorio;
- sia in grado di operare secondo le indicazioni fornite nel capitolato relativo agli esami geotecnici di laboratorio.

L'idoneità per la qualifica sarà certificata su apposita scheda, riportante:

- la tipologia delle verifiche effettuate,
- il loro esito,
- note generali,
- il risultato della qualifica.

A seguito dell'esame da parte della Direzione Lavori della documentazione di cui sopra, l'elenco dei laboratori approvati sarà comunicato, mediante lettera di notifica all'Impresa Esecutrice.

E' facoltà della Direzione Lavori eseguire controlli di verifica presso i laboratori indicati nel piano C.Q.

#### **6.1.4 Condizioni per l'inizio dei lavori**

Il Responsabile di C.Q. dovrà, prima dell'inizio dei lavori, trasmettere alla Direzione Lavori una comunicazione di inizio degli stessi corredata da:

- un programma di esecuzione dei lavori, riportante tipologia numero e modalità di esecuzione (ove richiesto) delle indagini da eseguire. Il programma di lavoro sarà realizzato includendo personale, modalità operative ed attrezzature conformi alle prescrizioni del Capitolato, senza apportare variazioni che non siano state concordate con la Direzione Lavori; il programma di lavoro potrà essere modificato, con l'approvazione della Direzione Lavori, qualora motivato da ragioni emergenti nel corso dei lavori e non prevedibili in fase di prima stesura. Detto programma sarà elaborato dal responsabile dell'unità operativa in oggetto;
- un programma di esecuzione delle prove presso i laboratori qualificati, concordato con i responsabili dei laboratori;
- il programma temporale delle attività di laboratorio;
- la comunicazione di nomina del Geologo Direttore di Cantiere e dei suoi assistenti;
- la lettera di notifica dei laboratori precedentemente approvati.

La Direzione Lavori approverà per iscritto il programma di esecuzione dei lavori.

Il Responsabile di C.Q. deve assicurare che l'Esecutore ed il laboratorio possano svolgere rispettivamente l'attività di indagine/prelievo e di analisi in collaborazione ed interazione con il progettista geotecnico.

Questo interfacciamento dovrà consentire, in corso d'opera, di apportare le necessarie modifiche e aggiustamenti al programma ed alla ubicazione delle prove.

Tale procedura dovrà essere seguita ogni qual volta si modifichino le condizioni operative di cui alla richiesta in essere.



## 6.1.5 Schede

### Schede accettazione

<b>Scheda n° 1</b>					
<b>SONDAGGI GEOGNOSTICI</b>					
			<b>Macchine operatrici ed attrezzature</b>		
	<i>buono</i>	<i>accettabile</i>	<i>scarso</i>	<i>non richiesto</i>	<i>note</i>
<b>Macchine operatrici</b>					
<u>Attrezzatura di perforazione</u>					
Caratteristiche tecniche					
Anno di costruzione					
Stato di manutenzione					
Accessori					
<u>Attrezzature per riparazioni in loco</u>					
Qualità					
Quantità					
Efficienza					
<b>Mezzi di supporto</b>					
<u>Autobotte</u>					
Caratteristiche tecniche					
Anno di costruzione					
Stato di manutenzione					
Capacità					
<u>Autovetture di servizio</u>					
Caratteristiche tecniche					
Anno di costruzione					
Stato di manutenzione					
<b>Attrezzature</b>					
<u>Pompe</u>					
Caratteristiche tecniche					
Stato di manutenzione					
<u>Miscelatori</u>					
Caratteristiche tecniche					
Stato di manutenzione					
<u>Iniettori</u>					
Caratteristiche tecniche					
Stato di manutenzione					
<u>Vasche per fluidi</u>					
Caratteristiche tecniche					
Stato di manutenzione					

[illegible]

[illegible]

<b>Scheda n° 2</b>					
<b><u>PROVE PENETROMETRICHE</u></b>					
			<b>Macchine operatrici ed attrezzature</b>		





	<u>buono</u>	<u>accettabile</u>	<u>scarso</u>	<u>non richiesto</u>	<u>note</u>
<b>Macchine operatrici</b>					
<u>Penetrometro statico</u>					
Caratteristiche tecniche					
Anno di costruzione					
Stato di manutenzione					
Accessori					
<u>Penetrometro dinamico</u>					
Caratteristiche tecniche					
Anno di costruzione					
Stato di manutenzione					
Accessori					
<b>Mezzi di supporto</b>					
<u>Autovetture di servizio</u>					
Caratteristiche tecniche					
Anno di costruzione					
Stato di manutenzione					
<b>Attrezzature</b>					
<u>Aste</u>					
Qualità					
Quantità					
Assortimento					
Condizioni di usura					
<u>Rivestimenti / manicotti</u>					
Qualità					
Quantità					
Assortimento					
Condizioni di usura					
<u>Punte normali</u>					
Qualità					
Quantità					
Condizioni di usura					
<u>Punte elettriche</u>					
Qualità					
Quantità					
Condizioni di usura					



<u>Punte con piezocono</u>					
Qualità					
Quantità					
Condizioni di usura					
	<b><u>buono</u></b>	<b><u>accettabile</u></b>	<b><u>scarso</u></b>	<b><u>non richiesto</u></b>	<b><u>note</u></b>
<u>Strumentazione di registrazione</u>					
Caratteristiche tecniche					
Anno di costruzione					
Stato di manutenzione					
Efficienza					
<u>Varie ed eventuali</u>					
<b><u>Certificati di taratura</u></b>					
	<b><u>si</u></b>	<b><u>no</u></b>			
<u>Manometri</u>					
<u>Punta elettrica</u>					
<u>Piezocono</u>					



## 6.2 CONTROLLI IN CORSO D'OPERA

### 6.2.1 *Controlli sulle indagini geotecniche, geomeccaniche e geofisiche in sito*

A) Prima all'inizio delle attività in oggetto il responsabile di C.Q. dovrà procedere alle seguenti verifiche e controlli:

- Verificare se esiste l'approvazione del programma lavori rilasciata dalla Direzione Lavori;
- Controllare la effettiva presenza del Geologo Direttore di Cantiere incaricato sul sito dell'indagine.
- Verificare l'esistenza e la correlazione della scheda di qualifica delle attrezzature impiegate, in riferimento alla tipologia dell'attività da effettuare.
- Verificare la predisposizione di un luogo, con le caratteristiche previste per l'adeguata conservazione, al riparo da agenti atmosferici delle cassette catalogatrici dei carotaggi. Detto luogo sarà stato concordato con la Direzione Lavori.
- Gli esiti dei suddetti controlli saranno annotati sul P.C.Q.

B) Al completamento di ogni indagine in situ il Geologo Direttore di Cantiere dovrà predisporre una adeguata documentazione certificativa degli esiti delle prove o dei sondaggi e delle loro modalità di esecuzione e firmarle per certificazione del loro contenuto.

Tale documentazione dovrà essere adeguatamente codificata in modo da essere immediatamente correlabile a:

- localizzazione del punto di sondaggio o di indagine,
- P.C.Q. delle indagini,

- nominativo del Geologo Direttore di Cantiere.

Per ogni tipo di indagine effettuata tale documentazione dovrà essere conforme per tipologia di dati contenuti e terminologia, a quanto dettagliatamente richiesto e prescritto nei paragrafi precedenti e dalle Norme di riferimento.

L'emissione e la conformità della suddetta documentazione sarà annotata sul P.C.Q., mentre la stessa, in quanto documentazione di C.Q. sarà allegata al dossier delle indagini che, entro 20 gg. dal termine dei lavori sarà consegnata, con lettera accompagnatoria firmata dal responsabile dell'attività, alla Direzione Lavori.

## **6.2.2 Indagini da eseguire con prove di laboratorio**

### **6.2.2.1 PRELIEVO DEI CAMPIONI**

Per le modalità di prelievo dei campioni e quindi delle attività da eseguire in sito, si procede in modo analogo a quanto specificato nel capitolato.

Il Geologo Direttore di Cantiere dovrà tenere un giornale degli invii in laboratorio che gli consenta di rispettare i programmi precedentemente concordati e consegnati alla Direzione Lavori.

In questo giornale degli invii si dovrà annotare:

- nominativo del laboratorio ed estremi della certificazione di qualifica;
- data di invio dei rilievi stratigrafici necessari agli stessi, e delle finalità delle opere da realizzare, come richiesto dal Capitolato;
- data dell'invio dei campioni, con gli estremi del documento di accompagnamento.

### **6.2.2.2 CONSERVAZIONE E TRASPORTO DEI CAMPIONI**

All'atto dell'invio in laboratorio dei campioni di terreno il Geologo Direttore di Cantiere dovrà controllare:

- che il laboratorio di destinazione sia tra quelli già preventivamente qualificati.
- la conformità delle metodologie d'imballo a quanto previsto chiaramente nel capitolato.

Ogni lotto di campionamento inviato in laboratorio dovrà essere accompagnato da un documento firmato dal Geologo Direttore di Cantiere riportante:

- località del prelievo
- data e ora del prelievo
- nominativo del laboratorio di destinazione
- esecuzione delle verifica sul corretto imballo dei campioni come sopra richiamato
- elencazione delle prove da eseguire sul campione.

Per campioni soggetti a prove microbiologiche, se le consegne dovessero avvenire giornalmente, in tempi superiori alle 8 ore, gli stessi dovranno essere conservati in frigoriferi e comunque recapitati entro le 24 ore dalla data di prelievo.

In questo caso sul documento di spedizione dovrà' essere anche indicata la durata della conservazione in frigorifero.

Questo documento accompagnatorio costituisce documentazione di C.Q. e una sua copia sarà parte della documentazione finale dell'indagine.

### **6.2.3 Controlli in laboratorio**

All'atto della ricezione dei campioni in laboratorio, il responsabile dello stesso dovrà:

- accertare il corretto stato di conservazione dei campioni,
- nel caso che i campioni siano soggetti a prove di determinazioni microbiologiche, dovrà accertare che il recapito in laboratorio sia stato

effettuato entro 8 ore dal momento del prelievo, o entro 24 ore se la conservazione è avvenuta in frigorifero.

L'esito delle suddette verifiche sarà annotato sulla lettera di spedizione che dovrà essere riconsegnata all'Impresa Esecutrice insieme ai certificati di analisi e allegati al dossier di C.Q. dell'indagine.

Gli esiti di tutte le prove dovranno essere riportati su certificati controfirmati dal Direttore di Laboratorio il quale, per ogni tipo di prova effettuata, dovrà emettere una certificazione conforme, in tipologia di dati e in terminologia a quanto richiesto e prescritto dal Capitolato di Costruzione e dalle Norme di riferimento.

Tutti i controlli suddetti saranno annotati sul P.C.Q. e i suddetti certificati allegati al dossier dell'attività.

#### **6.2.4 Accettazione dei risultati delle prove**

In accordo alla procedura di interfaccia di cui al punto 6.1.5, i risultati delle indagini/prelievi dovranno essere accettati dal progettista che esaminerà la congruità della ubicazione e delle modalità di esecuzione rispetto a quanto da lui preventivamente richiesto.