



ISTRUZIONE TECNICA
PPR1 – REALIZZAZIONE PROGETTUALE
LAVORI DI INDAGINE GEOTECNICA
NORME TECNICHE D'APPALTO
INDAGINI IN SITO

Rif: IT-PPR1-GEO-003
Rev: 0
Data: 05/07/2021

LAVORI DI INDAGINE GEOTECNICA
NORME TECNICHE D'APPALTO
INDAGINI IN SITO

Il presente documento è di proprietà di Tecne Gruppo Autostrade per l'Italia S.p.A. e, pertanto, viene diffuso a condizione che né lo stesso, né qualsiasi informazione contenuta sia riprodotta o usata, anche solo in parte, senza l'autorizzazione della Società.

NRO REVISIONE	DATA REVISIONE	CAUSALE REVISIONE
0	05/07/2021	Emissione

	RUOLO	NOME	DATA	FIRMA
REDATTO	MSG	MARANINI	7/7/2021	
	RU GEO	BOERIO	07/07/2021	
APPROVATO	TDM	TANZI	12/07/21	
	RDSGQ	RONCONI	12/7/21	
EMESSO	AD	SUSANI	19/7/21	

MSQX-MDS-Rev0

La sola edizione controllata del documento è quella diffusa attraverso la rete informatica.
Tutte le copie disponibili su carta o su qualsiasi altro supporto, escluso l'originale, non sono soggette a controllo e il loro stato di aggiornamento deve essere verificato prima dell'uso.

INDICE

1	PRESCRIZIONI DI CARATTERE GENERALE.....	6
1.1	PREMESSA	6
1.2	PROGETTO DELLE INDAGINI.....	8
1.2.1	Inizio lavori e rapporti con la società	8
1.2.2	Normative di riferimento	8
1.2.3	Subappalto	8
1.2.4	Attrezzature di indagine e di prova	9
1.2.5	Attività di cantiere.....	10
1.3	DOCUMENTAZIONE DELLE INDAGINI	11
1.3.1	Minute di prova.....	11
1.3.2	Certificati ufficiali	11
1.4	CONSERVAZIONE DEL MATERIALE OGGETTO DI INDAGINE.....	13
1.4.1	Consegna dei campioni	13
1.4.2	cassette catalogatrici	13
1.5	UBICAZIONE E QUOTA DEI PUNTI DI INDAGINE - RILIEVO TOPOGRAFICO	14
1.5.1	Identificazione dei punti di misura.....	14
1.5.2	Modalità esecutive	15
1.6	ASPETTI AMBIENTALI.....	16
1.6.1	Indagini in presenza d'acqua	16
1.6.2	Piste e piazzole	16
1.6.3	Salvaguardia ambientale	17
1.7	AUTORIZZAZIONI E SICUREZZA	18
1.8	ONERI DIVERSI.....	19
2	INDAGINI E PROVE GEOTECNICHE IN SITO	20
2.1	SONDAGGIO GEOTECNICO A CAROTAGGIO	20
2.1.1	Attrezzature di perforazione	20
2.1.2	Utensili di perforazione	21
2.1.3	Utensili di pulizia fondo foro e recupero strumentazione	21
2.1.4	Tubazioni di Rivestimento provvisorio	22
2.1.5	Strumenti di controllo e prova	22
2.1.6	Modalità esecutive	22
2.1.7	Fluidi di circolazione.....	25
2.1.8	Rilievo stratigrafico.....	25
2.1.9	Rilievo della falda	38
2.1.10	Cassette catalogatrici	38
2.1.11	Riempimento dei fori di sondaggio	39
2.2	SONDAGGIO A ROTAZIONE A DISTRUZIONE DI NUCLEO.....	41
2.2.1	Attrezzature di perforazione	41
2.2.2	Utensili di perforazione	41
2.2.3	Modalità esecutive	41
2.2.4	Documentazione	41
2.2.5	registrazione dei parametri di perforazione (Dac-test)	42
2.3	CAMPIONAMENTO GEOTECNICO IN SONDAGGIO.....	44
2.3.1	Metodi di campionamento	44

2.3.2	Tipi di campioni	45
2.3.3	Indicazioni relative ai campioni e modalità di prelievo	45
2.3.4	Imballaggio e trasporto dei campioni.....	50
2.4	PROVE GEOTECNICHE IN FORO.....	51
2.4.1	Standard Penetration Test (SPT)	51
2.4.2	Prova scissometrica (Vane Test).....	55
2.4.3	Prova pressiometrica tipo Menard (MPM).....	58
2.4.4	Prove di permeabilità tipo Lefranc	65
2.4.5	Prove di permeabilità tipo Slug test.....	72
2.4.6	Prove di permeabilità con micromulinello	77
2.4.7	Prova di pompaggio.....	80
2.5	PROVE PENETROMETRICHE E DILATOMETRICHE CONTINUE	87
2.5.1	Preforo	87
2.5.2	Prova penetrometrica dinamica continua DPSH	88
2.5.3	Prova penetrometrica statica con punta meccanica (CPT)	92
2.5.4	Prova penetrometrica statica con punta elettrica (CPT-E)	95
2.5.5	Prova penetrometrica statica con piezocono (CPT-U) e prova di dissipazione	99
2.5.6	Prova con dilatometro piatto tipo Marchetti (DMT).....	106
2.5.7	Prova penetrometrica dinamica per pavimentazioni e strati superficiali (DCP)	110
2.6	INDAGINI E PROVE NEI POZZETTI ESPLORATIVI.....	114
2.6.1	Pozzetto Esplorativo	114
2.6.2	Prelievo di campioni rimaneggiati in pozzetto.....	115
2.6.3	Prelievo di campioni indisturbati cubici.....	116
2.6.4	Prova di carico su piastra.....	118
2.6.5	Prova di densità in sito (metodo della sabbia calibrata).....	123
2.6.6	Prova di permeabilità in pozzetto.....	126
3	INDAGINI E PROVE AMBIENTALI IN SITO	129
3.1	SONDAGGIO AMBIENTALE A CAROTAGGIO	129
3.1.2	Attrezzature e idoneità alle lavorazioni.....	129
3.1.3	Modalità di perforazione in ambito ambientale	130
3.2	SCAVO AMBIENTALE.....	132
3.2.2	Scavo del terreno per mezzo di utensili manuali	132
3.2.3	Scavo del terreno mediante trivella manuale.....	132
3.2.4	Scavo del terreno mediante escavatore meccanico.....	133
3.3	CAMPIONAMENTO AMBIENTALE DI TERRE, ROCCE E ACQUE	134
3.3.1	Normative e specifiche di riferimento	134
3.3.2	Modalità di campionamento	134
3.3.3	Conservazione e consegna dei campioni	137
4	INDAGINI E PROVE GEOMECCANICHE IN SITO	138
4.1	SONDAGGIO GEOMECCANICO.....	138
4.1.1	Attrezzature di perforazione	138
4.1.2	Modalità esecutive di perforazione	138
4.1.3	Descrizione geomeccanica delle carote di sondaggio	141
4.1.4	Impiego del preventer	143
4.2	INDAGINI E PROVE GEOMECCANICHE IN FORO DI SONDAGGIO.....	145
4.2.1	Rilievo della presenza di gas metano in fase di perforazione mediante esplosivometro ed analisi gascromatografiche di laboratorio.....	145

4.2.2	Rilievo televisivo.....	148
4.2.3	Rilievo ultrasonico con sonda bhtv	150
4.2.4	Determinazione dello stato di sollecitazione naturale con metodo doorstopper	152
4.2.5	Determinazione dello stato di sollecitazione naturale con cella estensim. triassiale (tipo C.S.I.R.O.)	154
4.2.6	Prova di fratturazione idraulica	156
4.2.7	Prova dilatometrica	159
4.2.8	Prova di permeabilità tipo Lugeon	163
4.3	INDAGINI E PROVE GEOMECCANICHE SU AFFIORAMENTO ROCCIOSO O IN GALLERIA	168
4.3.1	Rilievo geomeccanico di dettaglio	168
4.3.2	Prova con martinetto piatto	174
4.3.3	Prova di carico su piastra (piastra rigida).....	177
4.3.4	Prova di carico su piastra (piastra flessibile).....	180
4.3.5	Prova di taglio diretto in sito	182

5 MONITORAGGI 186

5.1	INSTALLAZIONE DI STRUMENTAZIONE	186
5.1.1	Piezometro a tubo aperto	186
5.1.2	Piezometro tipo Casagrande.....	189
5.1.3	Piezometro elettrico.....	192
5.1.4	Tubo cieco per geofisica in foro (Down-Hole o Cross- Hole).....	194
5.1.5	Tubo inclinometrico.....	197
5.1.6	Catena inclinometrica fissa	201
5.1.7	Tubazione per misura estensimetrica incrementale tipo increx.....	203
5.1.8	Tubazione per misura estensimetrica incrementale tipo iseth o estenso-inclinometrica tipo trivec.....	207
5.1.9	Estensimetro ad aste	210
5.1.10	Estensimetro a filo	212
5.1.11	Clinometro di superficie	214
5.1.12	Fessurimetro.....	216
5.1.13	Cella di pressione da foro.....	217
5.1.14	Sistemi di acquisizione dati	219
5.1.15	Cavi elettrici di collegamento	223
5.2	LETTURE E RILIEVI STRUMENTALI	224
5.2.1	Misura in piezometro a tubo aperto e in piezometro tipo Casagrande	224
5.2.2	Misura in piezometro elettrico o in trasduttore di pressione con datalogger	226
5.2.3	Misura inclinometrica	227
5.2.4	Misura estensimetrica incrementale tipo increx.....	232
5.2.5	Misura estensimetrica incrementale tipo iseth.....	234
5.2.6	Misura estenso-inclinometrica tipo trivec	236
5.2.7	Misura estensimetrica (estensimetro ad aste, a filo e fessurimetro).....	238
5.2.8	Misura clinometrica di superficie.....	239
5.2.9	Misura con cella di pressione da foro.....	240
5.3	MISURE E CONTROLLI DI DIREZIONE IN FORO DI SONDAGGIO.....	241
5.3.1	Misura di inclinazione e orientazione in foro verticale.....	241
5.3.2	Misura di geometria in foro verticale o inclinato.....	243
5.3.3	Misura di inclinazione in foro orizzontale	245
5.4	ARCHIVIAZIONE DATI SU SUPPORTO INFORMATICO.....	248
5.4.1	Generalità	248
5.4.2	Struttura generale dei dati	248
5.4.3	Piezometri.....	252
5.4.4	Tubi inclinometrici	255

6	INDAGINI GEOFISICHE	259
6.1	PROSPEZIONI SISMICHE.....	259
6.1.1	Indagine sismica a rifrazione ad onde di compressione (onde P).....	259
6.1.2	Indagine sismica a rifrazione ad onde di taglio (onde S)	262
6.1.3	Analisi della attenuazione anelastica e determinazione del Fattore Qualità	264
6.1.4	Indagine sismica a riflessione	265
6.1.5	Prospezione sismica Down Hole in foro di sondaggio	267
6.1.6	Prospezione sismica Cross Hole tra fori di sondaggio.....	270
6.1.7	Prospezione sismica (Down Hole) in prova penetrometrica o dilatometrica (S-CPT, S-DMT).....	272
6.1.8	Prospezione geotomografica	275
6.1.9	Log sonico	277
6.1.10	Prospezione sismica di superficie SASW e MASW	279
6.1.11	Prove per onde superficiali passive (spettro f-k, ESAC, SPAC, RE.MI.)	284
6.1.12	Prospezione sismica passiva di superficie HVSR	288
6.2	PROSPEZIONI ELETTRICHE	291
6.2.1	Sondaggio elettrico verticale (SEV).....	291
6.2.2	Tomografia Elettrica.....	293
6.2.3	Profilo di resistività	295
6.3	PROSPEZIONI CON GEORADAR	296
6.3.1	Prospezione con Georadar dalla superficie o in galleria.....	296
6.4	PROSPEZIONI ELETTRICHE.....	299
6.4.1	Indagine elettromagnetica in dominio di frequenza.....	299
7	GESTIONE RISCHI.....	302
7.1.1	Area Cogente/Normativa.....	302
7.1.2	Area Etica Aziendale	302
7.1.3	Area Operativa	302

1 PRESCRIZIONI DI CARATTERE GENERALE

1.1 PREMESSA

Fanno parte integrante del contratto di appalto disciplinato dalle presenti Norme Tecniche la dichiarazione dell'Impresa di aver preso conoscenza del progetto delle indagini predisposto dalla Società, di concordare sui risultati finali, di riconoscerlo perfettamente realizzabile e di assumere infine piena ed intera responsabilità della sua esecuzione.

L'Impresa dovrà comunque eseguire le opere in ottemperanza alle Leggi, ai regolamenti vigenti ed alle prescrizioni delle Autorità competenti, in conformità alle disposizioni che i competenti Uffici della Società ritengano di disporre.

Pertanto, ferma restando ogni altra responsabilità dell'Impresa a termini di Legge, essa rimane unica e completa responsabile dell'esecuzione delle opere.

Le presenti Norme Tecniche determinano in modo prioritario le modalità di esecuzione e di valutazione dei lavori di indagine geotecnica in sito; in altre parole, nel caso di discrepanze e difformità tra Norma Tecnica e descrizione del prezzo contenuta nell'Elenco Prezzi, dovrà essere seguito quanto previsto dalle Norme Tecniche.

Il presente documento è complementare alle Norme Tecniche d'Appalto Prove di Laboratorio, per le quali si farà riferimento per tutte le lavorazioni di laboratorio in ambito geotecnico e geomeccanico.

Nella esecuzione delle attività concernenti le indagini geotecniche, geomeccaniche e geofisiche, 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 con il personale e le attrezzature necessarie, opere di ripristino delle condizioni precedenti l'esecuzione dei lavori, il risarcimento dei danni a terzi, la documentazione fotografica delle attività svolte, 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 della Contratto.

L'Impresa esecutrice si impegna a visitare preventivamente i siti considerando le problematiche connesse con lo svolgimento a regola d'arte dei lavori d'indagine. Inoltre, costituisce specifico obbligo dell'Impresa Esecutrice l'inviare, entro i termini di legge dall'inizio dell'esecuzione di indagini a mezzo di scavi, perforazioni e rilievi geofisici spinti a profondità maggiori di 30 metri dal piano campagna, la comunicazione al Servizio Geologico d'Italia - Dipartimento Difesa del Suolo (ISPRA) - contenente le informazioni richieste dall'art. 1, comma 1, della Legge 4 agosto 1984, n. 464".

Successivamente entro il termine di 30 giorni dall'ultimazione degli studi e/o indagini, l'Impresa è del pari tenuta a trasmettere la relazione richiesta dal comma 2 del prefato articolo con i documenti sui risultati geologici e geofisici acquisiti.

Gli approntamenti delle diverse attrezzature impiegate per lo svolgimento delle indagini in sito (sonde, penetrometri, presssometri, dilatometri, ecc.), verranno compensati una sola volta nell'ambito di uno stesso incarico per lavori di indagine geognostica, in base al numero di attrezzature effettivamente impiegato indipendentemente dall'organizzazione delle operazioni di indagine, la cui ottimizzazione rimane a carico dell'Impresa; in particolare ogni approntamento dovrà essere espressamente autorizzato dalla Società. Laddove sia richiesto l'impiego di più

attrezzature in parallelo il loro approntamento dovrà avvenire secondo le richieste del piano di indagini trasmesso dalla Società, e dovrà essere garantita la continuità operativa delle lavorazioni.

1.2 PROGETTO DELLE INDAGINI

Le presenti norme tecniche hanno carattere generale. Esse saranno integrate, per l'appalto, da un progetto delle indagini, fornito dalla Società, che indicherà il numero, la profondità e l'ubicazione dei sondaggi da eseguirsi, il tipo e la frequenza delle prove e dei campionamenti da effettuare nei sondaggi, il tipo, l'ubicazione e la profondità delle prove in sito, il tipo e il numero delle prove di laboratorio.

I lavori di indagine geotecnica dovranno essere realizzati dal fornitore con personale, modalità operative ed attrezzature conformi alle prescrizioni delle presenti Norme Tecniche, senza apportare variazioni che non siano state preventivamente concordate ed approvate da Tecne.

1.2.1 INIZIO LAVORI E RAPPORTI CON LA SOCIETÀ

La Società comunicherà all'Impresa la data d'inizio dei lavori in forma scritta, quando non preventivamente indicato nel progetto delle indagini.

Almeno una settimana prima dell'inizio delle attività l'Impresa dovrà comunicare alla Società il programma temporale dettagliato di attuazione delle indagini previste, in modo che sia possibile presenziare alle attività anche al fine di concordare eventuali modifiche al programma di indagini.

L'Impresa dovrà inoltre comunicare tempestivamente alla Società qualsiasi problema o inconveniente che dovesse insorgere durante l'effettuazione delle attività in programma.

In nessun caso l'Impresa potrà proseguire nel programma di indagini o modificare il programma di indagini senza la preventiva autorizzazione della Società.

Nel corso delle indagini l'Impresa dovrà trasmettere alla Società un rapporto settimanale comprendente lo stato di avanzamento delle attività di indagine e ogni variazione rispetto al programma temporale trasmesso inizialmente.

Le risultanze delle attività svolte (bozze, minute di prova, ecc.) dovranno essere trasmesse regolarmente alla società secondo quanto riportato nel successivo Capitolo 1.3.

1.2.2 NORMATIVE DI RIFERIMENTO

Le indagini saranno eseguite, salvo diversa indicazione della Società, in accordo agli standard di riferimento indicati nelle presente Norme Tecniche.

Nei capitoli seguenti, per ciascuna indagine o prova elencata, viene riportata la normativa di riferimento a cui l'impresa dovrà di regola attenersi, unitamente alle indicazioni sulle modalità di prova o indagine; l'eventuale esecuzione delle prove secondo modalità, standard o normative alternative a quelle indicate nelle presenti norme tecniche dovrà essere preventivamente autorizzato dalla Società.

In ogni caso la normativa di riferimento seguita per l'esecuzione delle prove dovrà essere indicata nel rapporto di prova.

1.2.3 SUBAPPALTO

Qualora non diversamente specificato non è consentito l'affidamento dell'esecuzione delle indagini ad un fornitore diverso da quello indicato dalla Società. È consentito l'affidamento ad un fornitore esterno di prove particolarmente sofisticate, non routinarie, e per le quali l'impresa non sia adeguatamente attrezzata, solo previa autorizzazione della Società.

In ogni caso l'impresa incaricata da Tecne dovrà garantire la corretta esecuzione delle prove subappaltate e l'attendibilità dei risultati ottenuti, assicurandosi e garantendo nei confronti della Società che il subappaltante soddisfi i criteri generali di competenza prescritti nelle presenti norme tecniche.

1.2.4 ATTREZZATURE DI INDAGINE E DI PROVA

L'impresa dovrà essere fornita di tutte le attrezzature necessarie per la corretta esecuzione delle indagini in programma.

Tali attrezzature dovranno essere conformi e equipaggiate secondo quanto riportato nelle presenti Norme Tecniche, in relazione a quanto richiesto dalla Società o dal piano di indagini di progetto.

Eventuali irregolarità o difformità dovranno comunque essere comunicate per iscritto, ed autorizzate dalla Società precedentemente all'esecuzione delle indagini.

Prima dell'inizio delle attività o dietro richiesta il fornitore dovrà rendere disponibile l'elenco dei macchinari e delle attrezzature di proprietà, con l'indicazione della marca o tipologia, delle specifiche prestazionali e/o caratteristiche, e quantità disponibili.

Più in particolare, per i macchinari, dovrà essere disponibile una scheda di registrazione che riporti:

- il nome dell'attrezzatura;
- il nome del fabbricante, l'identificazione del modello ed il numero di serie;
- le specifiche prestazionali;
- la data di acquisizione e la data di messa in servizio;
- lo stato al momento del ricevimento;
- le operazioni di manutenzione eseguite;
- i danni subiti e le riparazioni eseguite;
- taratura dei sistemi di misura delle forze e pressioni, di data non anteriore di un anno alla data di prova.

Qualora l'impresa sia autorizzata al rilascio di certificati ufficiali in accordo alla 7618/STC del 2010 rilasciata dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, l'elenco suddetto dovrà essere conforme a quello conservato presso il Servizio Tecnico Centrale dell'Ente suddetto, oltre agli eventuali successivi aggiornamenti.

Per tutte le attrezzature dovranno essere disponibili idonee procedure di manutenzione.

Gli strumenti di misura dovranno essere sottoposti a taratura secondo un programma temporale adeguato al carico di lavoro dell'impresa, e comunque ad intervalli non superiori a sei mesi. La taratura degli strumenti di misura e di prova dovrà essere effettuata in modo da garantire la riferibilità delle misure effettuate alla catena metrologica internazionale.

La taratura annuale dovrà essere effettuata da centro autorizzato SIT o da un Laboratorio Ufficiale ai sensi dell'art. 20 della Legge 1086-1971.

L'impresa dovrà inoltre dimostrare, dietro richiesta, di possedere un efficace sistema interno di verifica e calibrazione delle apparecchiature di cui sopra, con registrazione delle verifiche di taratura interna almeno quadrimestrale.

Dietro richiesta della Società, copia dei certificati di taratura delle apparecchiature e degli strumenti di misura utilizzati per l'esecuzione delle prove, di data non anteriore di un anno alla data di prova, dovrà accompagnare il rapporto di prova emesso dall'impresa dietro richiesta della

MSQX-MSD-Rev0

La sola edizione controllata del documento è quella diffusa attraverso la rete informatica.

Tutte le copie disponibili su carta o su qualsiasi altro supporto, escluso l'originale, non sono soggette a controllo e il loro stato di aggiornamento deve essere verificato prima dell'uso.

Società.

1.2.5 ATTIVITÀ DI CANTIERE

Quando espressamente richiesto, dovrà essere compilato giornalmente, a cura del responsabile di cantiere dell'impresa incaricata, un rapporto contenente l'elenco delle indagini e delle prove effettuate durante la giornata lavorativa, elencate in riferimento agli articoli di Elenco Prezzi Tecne delle singole lavorazioni, suddivise per indagine e/o punto di ubicazione. Tale rapporto dovrà essere sempre disponibile in copia per la Società, per tutti i giorni lavorativi a partire dall'inizio cantiere.

L'Impresa dovrà assicurare la presenza a tempo pieno in cantiere di almeno un geologo, al quale verrà affidato il coordinamento dei lavori di indagine. Il geologo sarà responsabile della corretta esecuzione dei lavori, della redazione delle stratigrafie, della raccolta dei dati e della loro trasmissione alla Società nonché della fornitura di eventuali documenti integrativi che potrebbero servire alla definizione particolareggiata delle attrezzature e delle modalità esecutive.

Il geologo dovrà occuparsi esclusivamente degli aspetti geognostici, mentre l'organizzazione logistica del cantiere dovrà essere demandata ad altra persona. Dietro richiesta di Tecne l'impresa dovrà comunicare preventivamente i nominativi dei geologi, degli addetti all'organizzazione e degli operatori impegnati nelle indagini.

1.3 DOCUMENTAZIONE DELLE INDAGINI

La documentazione preliminare del lavoro svolto verrà progressivamente aggiornata nel corso dei lavori e sarà resa disponibile e trasmessa alla Società in forma e nei modi riportati di seguito. La documentazione in forma definitiva sarà presentata non oltre 20 giorni solari dal completamento dei lavori, salvo diversa prescrizione.

1.3.1 MINUTE DI PROVA

Durante l'esecuzione delle indagini in sito l'impresa è tenuta a compilare e fornire alla Società le minute di campagna relative ad ogni singola prova e/o indagine effettuata.

Qualunque prova, indagine, prelievo, monitoraggio o installazione di strumentazione dovrà pertanto essere rappresentata da una minuta che riporti: società esecutrice, luogo e data di realizzazione, l'eventuale sondaggio di riferimento, la durata della prova, il nome dell'operatore, una sigla identificativa della eventuale apparecchiatura utilizzata, nonché tutte le misure effettuate e necessarie all'elaborazione e/o alla redazione del certificato di prova, con indicazione delle unità di misura adottate. Qualora la prova o indagine sia eseguita mediante acquisizione automatica dei dati, dovrà essere reso disponibile un file di testo contenente i dati acquisiti, e un tabulato di stampa.

La società si riserva il diritto di considerare non eseguita a regola d'arte e/o di non contabilizzare l'indagine o prova per la quale non sia stata redatta la minuta, oppure qualora la stessa risulti incompleta, nelle misure o nei dati necessari all'identificazione ed elaborazione della prova.

Per quanto riguarda le schede stratigrafiche "di campagna" relative ai sondaggi geognostici, esse dovranno contenere, oltre alle indicazioni distintive del sondaggio, i seguenti dettagli: la descrizione stratigrafica; la definizione della metodologia di perforazione, dell'eventuale presenza di fluido di circolazione, della quota e tipo di rivestimento utilizzato; la produzione giornaliera effettuata; il numero, profondità e tipo di campioni prelevati; il numero, profondità e tipo di prove in foro effettuate; le misure puntuali di pocket e torvane eseguite sulle carote; la strumentazione installata, con indicazione delle quote e modalità di allestimento, riempimento e completamento del foro; il tipo di terminazione del foro adottato in superficie.

Le minute di prova saranno resi disponibili subito dopo l'esecuzione delle singole prove o al termine di ogni giornata lavorativa. Qualora tecnici Tecne non fossero presenti durante l'esecuzione della singola attività, dietro richiesta, le minute dovranno essere inviate alla Società via fax entro il giorno successivo.

1.3.2 CERTIFICATI UFFICIALI

I singoli certificati ufficiali di prova dovranno contenere, indistintamente per qualunque tipo di prova o indagine:

- l'identificazione della società esecutrice e del committente;
- identificazione del cantiere o dell'oggetto della commessa di riferimento
- una identificazione univoca del certificato (con un numero progressivo di serie e la data di emissione) e di ciascuna sua pagina ed il numero totale delle pagine;
- il corrispondente numero del verbale di accettazione;
- la descrizione e l'identificazione del campione da provare;

- la data di esecuzione della prova o indagine;
- il nominativo dell'operatore della prova e del responsabile delle eventuali elaborazioni dei dati;
- l'identificazione della specifica tecnica di riferimento o del metodo o della procedura di prova;
- la descrizione, se necessario, della procedura di esecuzione o campionamento
- tutte le variazioni, le aggiunte o le esclusioni rispetto alla specifica di prova, che comunque dovranno essere preventivamente autorizzate dalla Società;
- l'identificazione di tutti i metodi o le procedure non normalizzate che siano state utilizzate, che comunque dovranno essere preventivamente autorizzate dalla Società;
- le eventuali anomalie riscontrate;
- una dichiarazione, se necessario, sull'incertezza dei risultati delle misure;
- la firma e il titolo o un contrassegno equivalente delle persone che hanno assunto la responsabilità tecnica del rapporto di prova.

I certificati dovranno essere predisposti non appena completate le singole indagini, e resi disponibili in qualunque momento per un qualsivoglia controllo (anche tramite invio, in copia, presso la Società).

Al completamento della commessa i certificati ufficiali saranno inviati alla Società nel numero di copie previste dal contratto. Una copia dei certificati ufficiali dovrà essere conservata e archiviata dal laboratorio fino al saldo totale e definitivo della prestazione.

1.4 CONSERVAZIONE DEL MATERIALE OGGETTO DI INDAGINE

1.4.1 CONSEGNA DEI CAMPIONI

I campioni destinati al laboratorio verranno imballati con cura in casse il cui peso lordo non superi i 60 kg avendo cura di evitare danni nel corso del trasporto, con un adeguato imballaggio dei contenitori e in modo particolare dei campioni indisturbati.

I campioni dovranno essere consegnati con cadenza settimanale al laboratorio geotecnico indicato dalla Società.

La consegna dei campioni dovrà essere effettuata mediante distinta di accompagnamento trasmessa per conoscenza alla Società. La distinta, realizzata su carta intestata dell'impresa, dovrà contenere tutte le informazioni necessarie all'identificazione del sito di prelievo o di indagine:

- identificativo dei campioni (committente, cantiere, n. e tipo indagine);
- caratteristiche dei campioni prelevati (indisturbato / rimaneggiato; contenitore);
- data e modalità di prelievo;
- data di invio in laboratorio;
- modalità di consegna o spedizione;
- nominativo e firma del responsabile dell'invio

1.4.2 CASSETTE CATALOGATRICI

Le cassette catalogatrici con le carote saranno sistemate in luogo da concordarsi con la Società, al riparo dagli agenti atmosferici.

L'accatastamento delle casse dovrà avvenire separatamente per ogni sondaggio. Le casse saranno impilate in ordine progressivo di profondità, e dovranno riportare gli opportuni identificativi, sul bordo cassa e sul coperchio, in posizione ben visibile, in accordo a quanto espressamente indicato nel paragrafo 2.1.10.

1.5 UBICAZIONE E QUOTA DEI PUNTI DI INDAGINE - RILIEVO TOPOGRAFICO

L'ubicazione di ciascun punto di indagine dovrà risultare da un apposito rilievo topografico eseguito dall'Impresa.

La posizione planimetrica di ciascun punto di indagine sarà definita rispetto a capisaldi forniti dalla Società, e sarà restituita in coordinate Gauss Boaga e UTM WGS84; oltre a eventuali sistemi di coordinate locali (coordinate rettilinee) .

Il rilievo topografico potrà essere richiesto anche per l'individuazione e la definizione di nuovi capisaldi di raffittimento, laddove necessario.

La quota di ciascun punto di indagine sarà definita rispetto al livello medio marino o al riferimento locale fornito dalla Società.

Le tolleranze planoaltimetriche dovranno essere contenute nel limite massimo di ± 5 cm. In particolari situazioni (monitoraggio di strumentazione inclinometrica, presenza di dissesti o situazioni topografiche particolarmente accidentate), potrà essere richiesta una precisione con tolleranza differente, fino a un massimo di ± 1 cm.

1.5.1 IDENTIFICAZIONE DEI PUNTI DI MISURA

il rilievo topografico dovrà sempre essere accompagnato da una precisa descrizione del punto di misura a terra, in rapporto alla strumentazione visibile e ad elementi del territorio presenti nelle immediate vicinanze. Salvo diversa indicazione, in presenza di coperture fuori terra installate sul punto di indagine (v. chiusini esterni), il rilievo dovrà essere riferito alla quota del terreno adiacente gli elementi suddetti.

Quando richiesto, ogni punto di indagine dovrà essere materializzato sul terreno con una palina in legno o acciaio, cementata a terra, di altezza minima di 1.5 m, recante la sigla dell'indagine, ed eventualmente la data di esecuzione.

Quando esplicitamente richiesto, in particolare per la definizione di nuovi vertici si realizzeranno delle strutture fisse fuori terra che, salvo diversa indicazione, potranno essere costituite da:

- tubo in pvc di diametro 0.30 m e lunghezza 1.50 m, installato verticalmente all'interno di un foro nel terreno per una profondità pari a 0.80 m circa, cementato alla base previa verifica della verticalità. Il tubo sarà riempito di calcestruzzo per tutta la sua altezza; in superficie sarà applicata una piastra circolare in acciaio, diam. 30 cm, vincolata orizzontalmente alla superficie del tubo cementato, provvista di una vite perpendicolare filettata in acciaio, di passo 5/8", lunga 2-3 cm.
- base orizzontale in cemento di lato 0.60x0.60 m, profonda 0.30 m, scavata a terra a filo del piano campagna. Al centro della piastra, perpendicolarmente ad essa, sarà applicata una vite filettata saldata ad una piastra in acciaio come sopra, vincolata alla superficie della base in cemento.

Qualora espressamente richiesto, per il monitoraggio di strumentazioni inclinometriche soggette a misurazioni periodiche, il punto di misura sarà costituito da un apparato mobile da innestarsi di volta in volta sulla testa del tubo inclinometrico oggetto di misura. Tale strumento sarà costituito da uno spezzone di tubo inclinometrico in alluminio, lungo 50 cm, dotato nella parte inferiore di manicotto di giunzione rivettato. Sulla superficie superiore sarà fissata una piastra orizzontale in acciaio diam. 80 mm, provvista al centro di una vite perpendicolare filettata, in acciaio, passo 5/8", lunga 2-3 cm.

1.5.2 MODALITÀ ESECUTIVE

Il rilievo topografico potrà eseguirsi con strumentazione tradizionale (tacheometrica) o con strumentazione GPS.

Nel caso di rilievo con strumentazione GPS si utilizzerà un sistema in doppia frequenza, composto da non meno di due postazioni autonome ("master" e "slave"). Ogni stazione deve essere attrezzata con display e datalogger per la configurazione ed il controllo, e dovranno essere completi di accessori e software di post-elaborazione.

Ciascun vertice di misura (slave) dovrà essere collegato ai punti di riferimento (master) consegnati da Tecne, determinando la lunghezza e il dislivello di ciascuna base di misura mediante l'esecuzione di misure di fase (o interferenziali). Ciascuna sessione di misura dovrà avere una frequenza di campionamento pari a 5 secondi, con una durata minima di stazionamento tale da garantire l'ottenimento delle precisioni richieste. A richiesta, in presenza della Tecne, potranno effettuarsi misure ripetute su punti campione, al fine di verificare l'esattezza e la precisione delle coordinate prodotte.

Le reti di misura saranno compensate con opportuni programmi di elaborazione, al fine di ottenere, oltre ai valori compensati di distanza e livello ellissoidico, il valore dell'errore associato a ciascuna determinazione.

Nel caso di misurazioni periodiche dovranno essere fornite le differenze di coordinate relative alle campagne precedenti ed il vettore di spostamento apparente.

1.5.2.1 Documentazione finale

I risultati del rilievo topografico del punto di indagine dovranno essere raccolti in una apposita scheda monografica comprendente:

- sigla del punto di indagine;
- eventuale caposaldo di riferimento (master);
- coordinate planimetriche nel sistema UTM-WGS-84, Gauss-Boaga, e relative (Locali);
- quota ortometrica assoluta;
- stralcio planimetrico in scala adeguata in relazione alla cartografia consegnata;
- schizzo planimetrico di dettaglio (in scala 1:1000 o superiore);
- indicazioni per la precisa localizzazione in sito;
- documentazione fotografica.

La foto del punto di indagine dovrà essere in formato 9x13 cm, rappresentativa del punto di indagine e dovrà essere realizzata durante il rilievo, con visualizzazione della strumentazione topografica installata sullo stesso punto di misura.

Per misurazioni eseguite con sistema GPS, su richiesta dovranno essere forniti i file di acquisizione, registrati nel formato digitale internazionale "Rinex".

1.6 ASPETTI AMBIENTALI

1.6.1 INDAGINI IN PRESENZA D'ACQUA

Per le indagini in presenza d'acqua (fiumi, laghi, mare), non sono fornite apposite prescrizioni generali. Le modalità operative di sondaggio o prova, restano invariate rispetto a quanto indicato nei capitoli precedenti, salvo particolari prescrizioni che andranno definite caso per caso. Le diverse soluzioni per l'appoggio delle attrezzature (pontoni galleggianti, piattaforme a gambe fisse, piattaforme autosollevanti, ecc.) andranno concordate in sede di incarico.

1.6.2 PISTE E PIAZZOLE

Sono così denominate le piste aventi la lunghezza e larghezza minima necessaria atte a permettere il raggiungimento del punto d'indagine da mezzi a trazione integrale e/o le piazzole strettamente necessarie per il posizionamento dell'attrezzatura di sondaggio (lunghezza massima pari a 15 m) e che inoltre prevedano, sia le prime, che le seconde, l'utilizzo di mezzi meccanici per la loro realizzazione (es. escavatore e/o demolitore). Viceversa non si intendono denominate tali, e pertanto sono comprese e compensate nei prezzi di elenco, quelle piste e/o piazzole che non prevedano l'utilizzo dei mezzi meccanici e/o che non siano state indicate dalla Committenza negli elaborati contrattuali o autorizzate preventivamente dalla Società in corso d'opera.

Per la realizzazione delle piste e/o piazzole sono previsti e compensati i seguenti oneri:

- scavo di sbancamento in materie di qualsiasi natura e consistenza, asciutte o bagnate, secondo quanto previsto alla voce a) del relativo articolo, oppure scavo di sbancamento, che preveda il taglio a sezione libera in roccia tenera ed altri materiali di consistenza maggiore o uguale a quella del tufo da taglio (solo esclusa la roccia dura da mina) di cui alla voce b), anche in presenza d'acqua, per l'apertura della pista e/o piazzola;
- taglio delle piante, estirpazione delle ceppaie, radici, arbusti, ecc. ed eventuale loro trasporto in aree apposite;
- regolare smaltimento e deflusso delle acque nonché esaurimenti, compresi gli oneri per il loro trattamento secondo le vigenti norme di legge;
- ottenimento, a propria cura e spese, della disponibilità delle aree di stoccaggio dei materiali di scavo, dei loro accessi, comprese le relative indennità, nonché sistemazione e regolarizzazione superficiale dei materiali;
- ricerca e ottenimento dei permessi presso privati e/o presso gli Enti competenti.

Qualora, per la qualità del terreno o per qualsiasi altro motivo, fosse necessario puntellare o sbadacchiare le pareti degli scavi, l'Impresa dovrà provvedere a proprie spese, adottando le precauzioni necessarie per impedire franamenti o smottamenti; in ogni caso resta a carico dell'Impresa il risarcimento dei danni dovuti a tali motivi, subiti da persone, cose o dagli scavi medesimi; nel caso di franamenti degli scavi è a carico dell'Impresa procedere alla rimozione dei materiali ed al ripristino del profilo di scavo.

Qualora negli scavi in genere si fossero superati i limiti assegnati dalla Committente, non si terrà conto del maggior lavoro eseguito e l'Impresa dovrà, a sua cura e spese, rimettere in sito le materie scavate in più, utilizzando materiali idonei.

L'Impresa dovrà eseguire le opere in ottemperanza alle Leggi, ai regolamenti vigenti ed alle prescrizioni delle competenti Autorità e pertanto essa rimane completamente responsabile della esecuzione delle opere riferibili al presente articolo.

Dietro richiesta, l'Impresa dovrà fornire il tracciato delle piste e/o piazzole realizzate su apposita planimetria fornita dalla Società riportante l'applicazione dell'una o dell'altra voce di Elenco (escavatore o demolitore) nonché adeguata documentazione fotografica.

La misura della lunghezza delle piste e/o piazzole dovrà essere eseguita in loco in corrispondenza della mezzeria mediante utilizzo di bindella metrica.

1.6.3 SALVAGUARDIA AMBIENTALE

Le macchine impiegate nelle operazioni dovranno risultare idonee e tali da non arrecare danni all'ambiente circostante. In particolare dovrà essere curata la loro manutenzione e pulizia.

Tutte le operazioni di cantiere dovranno avvenire senza dispersione incontrollata sul suolo, nel sottosuolo e nei corpi idrici. Le acque e i fanghi andranno gestite in vasche impermeabilizzate realizzate a terra e/o in altro idoneo contenitore fuori terra, di volumetria adeguata, opportunamente raccordato alla bocca foro .

Qualora necessario, al termine delle lavorazioni dovrà essere garantito lo smaltimento delle acque di perforazione e dell'eventuale fango prodotto, che dovranno essere conferiti direttamente a ditte abilitate autorizzate per il trasporto e lo smaltimento presso i centri autorizzati, in accordo alla normativa vigente; si dovrà provvedere alla eventuale caratterizzazione chimica necessaria, alla compilazione degli eventuali formulari rifiuti e registri di carico/scarico.

Particolare cura dovrà essere posta nel ripristino del sito al termine delle operazioni di sondaggio., eventualmente asportando il terreno che fosse stato contaminato o inquinato durante le lavorazioni, da smaltire secondo le stesse modalità sopra indicate e in accordo alla normativa vigente.

1.7 AUTORIZZAZIONI E SICUREZZA

Nell'impianto del cantiere per qualsivoglia tipologia di indagini, l'impresa dovrà adottare tutte le precauzioni necessarie al fine di ottenere le autorizzazioni per lo svolgimento delle attività richieste. In particolare, con riferimento a:

- operazioni necessarie per il raggiungimento e/o approntamento del sito di sondaggio (disboscamento, realizzazione o ripristino di piste di accesso, vasche in terra, etc) che dovranno essere autorizzate, oltre che dalla proprietà dei terreni interessati, anche dal Comune o dagli altri Enti competenti nelle forme e secondo prescrizioni che questi riterranno di adottare.
- Approvvigionamento idrico di cantiere che potrà avvenire mediante prelievo da corpi idrici superficiali e/o sotterranei, previo rilascio di autorizzazione da parte degli uffici competenti (ex Genio Civile), ovvero acquisizione dei volumi di acqua necessari da privati o da Enti pubblici già concessionari d'uso della risorsa idrica.

L'impresa è tenuta all'osservanza delle misure generali di tutela previste dall'art. 3 del D.Lgs. 626/94 e sue successive modificazioni e dovrà valutare, sulla base delle conoscenze disponibili, la scelta delle attrezzature di lavoro nonché l'idonea sistemazione del sito di lavoro atto a garantire la sicurezza e la salute dei propri lavoratori. L'impresa, nella valutazione del rischio di cui all'art. 4, comma 1 del D.Lgs. 626/94, dovrà tenere conto anche dei pericoli per la salute umana derivante da possibili esposizioni a sostanze tossico-nocive.

In sede di assegnazione di incarico potrà essere data preferenza alle imprese esecutrici delle indagini in possesso delle certificazioni ISO 9001 e concessionate dal Ministero delle Infrastrutture e Trasporti ai sensi della circolare 7619/STC e smi.

1.8 ONERI DIVERSI

Nella esecuzione dei lavori di cui alle presenti Norme Tecniche d'Appalto l'Impresa dovrà altresì tener conto dei seguenti oneri ed adempimenti, compresi e compensati nei prezzi di elenco:

- la effettuazione della campagna di indagini 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 Società 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;
- la ricerca e l'individuazione di sottoservizi di ogni genere, di ordigni bellici, di beni di interesse archeologico e comunque di qualsiasi altro oggetto che potrebbe arrecare danni all'Impresa e/o a terzi, per i quali danni l'Impresa esecutrice sarà unica responsabile, rimanendone invece sollevata in tutti i casi la Committente;
- i danni e/o i vandalismi effettuati sulle attrezzature, sui materiali utilizzati per l'esecuzione delle indagini, sulle carote incustodite estratte dalle perforazioni e sui campioni;
- segnaletica stradale eventualmente necessaria per operare al di fuori degli ambiti autostradali in concessione.
- per l'esecuzione delle indagini che prevedano lavori preliminari a terra (v. preparazione logistica delle stese sismiche, ovvero degli allineamenti a terra per il posizionamento dei geofoni/elettrodi e dei punti di scoppio) l'impresa dovrà altresì tenere conto, come onere e adempimento compreso e compensato nei prezzi di elenco, del taglio di piante, estirpazione delle ceppaie, radici, arbusti ecc. ed eventuale loro trasporto in aree apposite.

2 INDAGINI E PROVE GEOTECNICHE IN SITO

2.1 SONDAGGIO GEOTECNICO A CAROTAGGIO

Il sondaggio geotecnico consiste nella perforazione a carotaggio continuo in terreno o roccia e nella descrizione della stratigrafia con modalità e osservazioni tali da consentire una caratterizzazione geotecnica dei terreni attraversati.

Si definisce sondaggio geotecnico una perforazione caratterizzata dalle seguenti modalità esecutive:

- carotaggio continuo e rappresentativo del terreno attraversato;
- descrizione stratigrafica a carattere geotecnico dei terreni attraversati;
- prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati di terreno;
- esecuzione di prove geotecniche o geomeccaniche in foro;
- determinazione del livello piezometrico della falda, se presente;
- annotazione di osservazioni atte alla caratterizzazione geotecnica del terreno.

Il dettaglio delle modalità esecutive del sondaggio (profondità e diametro della perforazione, tipo e profondità delle prove in sito, tipo e profondità dei campioni, ecc.) sarà contenuto nel progetto delle indagini, consegnato all'Impresa in fase di gara o comunque prima dell'inizio delle indagini.

Nel seguito si definiscono le caratteristiche delle attrezzature di perforazione da impiegarsi e le operazioni più direttamente connesse alla perforazione.

2.1.1 ATTREZZATURE DI PERFORAZIONE

Ogni sonda a rotazione dovrà avere caratteristiche tali da poter affrontare la tipologia di indagine di richiesta.

Nel caso di sonda a testa idraulica, dovrà possedere i seguenti requisiti minimi:

- | | |
|--|---------------------------|
| - velocità di rotazione | 0 ÷ 500rpm |
| - coppia massima | ≥ 4 kNm |
| - corsa continua | ≥ 150 cm |
| - spinta | ≥ 40 kN |
| - tiro | ≥ 40 kN |
| - pompa fluidi di perforazione | pressione ≥ 30 Bar |
| | portata ≥ 120 l/min |
| - pompa scarotatrice ad alta pressione | ≥ 90 Bar |
| - gruppo doppie morse (diam. min - max.) | 60 - 220 mm (o superiore) |
| - argano a fune e gruppo energetico autonomo | presente |

La pompa fluidi sarà dotata di un circuito supplementare per il rabbocco del fluido a testa foro.

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

In prossimità della sonda dovrà essere sempre presente una vasca o un contenitore di volumetria adeguata (min. 2 mc) per lo stoccaggio delle acque di ausilio alla perforazione e all'esecuzione delle eventuali prove in foro.

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

Ogni sonda cingolata o gommata dovrà essere attrezzata per il trasporto, fino al punto di indagine, delle aste, dei tubi di rivestimento, di carotieri e campionatori vari.

2.1.2 UTENSILI DI PERFORAZIONE

Si definiscono come utensili di perforazione i seguenti utensili:

- carotiere semplice provvisto di valvola a sfera in testa, e calice (se richiesto):
 diametro nominale $\varnothing_{est} = 101 \div 146 \text{ mm}$
 lunghezza utile $l = 150 \div 300 \text{ cm}$;
- carotiere doppio a corona sottile (T2, T6) con estrattore:
 diametro nominale $\varnothing_{est} \geq 100 \text{ mm}$;
- carotiere triplo con porta campione interno estraibile ed apribile longitudinalmente (T6S), con estrattore a calice:
 diametro nominale $\varnothing_{est} \geq 100 \text{ mm}$;
- corona di perforazione in widia;
- corona diamantata (di tipo incastonato e/o impregnato);
- aste di perforazione con filettatura tronco-conica:
 diametro esterno $\varnothing_{est} = 60 \div 76 \text{ mm}$.
 lunghezza utile $l = 50 \div 300 \text{ cm}$;

Gli utensili sopra elencati dovranno essere disponibili in sito in tutti i casi in cui il contesto ne renda prevedibile l'utilizzo.

2.1.3 UTENSILI DI PULIZIA FONDO FORO E RECUPERO STRUMENTAZIONE

Si definiscono utensili di pulizia fondo foro i seguenti utensili:

- carotiere semplice, lunghezza = $40 \div 80 \text{ cm}$;
- attrezzo a fori radiali, da impiegarsi con circolazione di fluido uscente dall'utensile, con inclinazione di $45^\circ \div 90^\circ$ rispetto alla verticale;
- campionatore a pareti grosse, diametro $\varnothing = 100 \text{ mm}$, con cestello di ritenuta alla base, per l'asportazione di eventuali ciottoli.

Si definiscono strumenti di recupero strumentazione a fondo foro i seguenti utensili:

- maschio di recupero, adattabile a diametri variabili da 50 a 178 mm;
- campana di recupero filettata, di varie dimensioni.

Il carotiere semplice dovrà essere sempre presente in cantiere. I restanti strumenti di pulizia e recupero dovranno essere resi disponibili tempestivamente dall'impresa qualora se ne presenti la necessità.

2.1.4 TUBAZIONI DI RIVESTIMENTO PROVVISORIO

La necessità di impiego dei tubi di rivestimento provvisorio è da verificarsi caso per caso, in relazione alle reali caratteristiche del sottosuolo. Il rivestimento sarà generalmente necessario nel corso della perforazione a carotaggio in tutti i terreni sciolti e nei terreni litoidi notevolmente fratturati, tali per cui non sia garantita l'apertura e l'autosostentamento del foro fino al completamento del sondaggio, delle eventuali prove previste ed installazione della strumentazione.

Le tubazioni di rivestimento dovranno avere un diametro adeguato al diametro dell'utensile di perforazione.

Nel caso di utilizzo di rivestimenti associati alla perforazione ad aste, i tubi di rivestimento utilizzati saranno in acciaio, con le seguenti caratteristiche:

- spessore del tubo $s = 8 \div 10$ mm;
- diametro interno $\varnothing_{int} = 127 \div 273$ mm;
- lunghezza spezzoni $l = 450 \div 300$ cm.

L'impresa comunque potrà proporre l'impiego di rivestimenti con diverse caratteristiche in relazione al tipo di attrezzatura di perforazione prescelta, subordinandone l'uso alla preventiva autorizzazione da parte della Società.

2.1.5 STRUMENTI DI CONTROLLO E PROVA

Devono far parte del corredo permanente delle attrezzature di perforazione i seguenti strumenti portatili:

- scandaglio a filo graduato, per la misura della quota di fondo foro raggiunta dalla perforazione;
- sonda piezometrica elettrica graduata;
- penetrometro tascabile, con fondo scala ≥ 5 kg/cm²;
- scissometro tascabile.

Quando espressamente richiesto, per sondaggi orizzontali o inclinati, dovrà essere presente una sonda predisposta per la ricostruzione del profilo di perforazione.

2.1.6 MODALITÀ ESECUTIVE

2.1.6.1 Normative e specifiche di riferimento

- AGI Associazione Geotecnica Italiana (1977) - Raccomandazioni sulla Programmazione ed Esecuzione delle Indagini Geotecniche.
- UNI EN 1997-2 (2007) - Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica. Parte 2. Indagini e prove nel sottosuolo [EN 1997-2 - Eurocode 7 - Geotechnical Design - Part 2: Ground investigation and Testing]
- EN ISO 22475-1:2006 - Geotechnical Investigation and Testing - Sampling Methods and Groundwater measurements - Part 1: Technical Principles for Execution.

Il sondaggio geotecnico dovrà essere eseguito come di seguito specificato.

2.1.6.2 Installazione attrezzatura di perforazione

L'attrezzatura di perforazione dovrà essere posizionata sulla verticale da indagare in modo che l'inclinazione e la direzione del foro non cambino durante le lavorazioni. L'attrezzatura dovrà essere dotata di stabilizzatori per il completo sollevamento da terra e disposizione della base in posizione perfettamente orizzontale.

Qualora si renda necessario, l'attrezzatura sarà ancorata al terreno o alla base per mezzo di eliche, corpi zavorrati, viti a pressione, ecc.

Prima di iniziare la perforazione, la guida di scorrimento della testa di rotazione della sonda sarà orientata secondo l'inclinazione e la direzione desiderata. Nel caso di fori verticali il controllo dell'inclinazione dovrà avvenire con livella a bolla di lunghezza non inferiore a 20 cm; nel caso di fori inclinati dovrà essere utilizzata una apposita bolla a goniometro.

2.1.6.3 Carotaggio

Il carotaggio dovrà essere integrale e rappresentativo dei litotipi attraversati, con percentuale di recupero $\geq 85\%$.

Il carotaggio eseguito nei terreni sciolti (ciottoli, ghiaie, sabbie, limi e argille) dovrà essere eseguito a secco, senza l'ausilio del fluido di perforazione, impiegando il carotiere semplice. All'estremità superiore del carotiere sarà sempre posizionata una valvola di non ritorno a sfera, per impedire il rifluimento dall'alto di fluido all'interno del carotiere.

L'estrusione delle carote di terreni sciolti sarà eseguita preferibilmente a pressione idraulica, utilizzando la pompa di servizio o, quando necessario, la pompa scarotatrice ad alta pressione. L'estrusione avverrà posizionando il carotiere a terra, in posizione orizzontale, utilizzando una canaletta di lunghezza idonea per la raccolta della carota estrusa. Durante l'operazione di estrusione si avrà la massima cura affinché il terreno non venga proiettato per l'eccessiva pressione e non subisca dilavamento.

In presenza di terreni prevalentemente granulari, per i quali l'estrusione idraulica non risulti efficace o provochi eccessivo dilavamento, è consentita l'estrusione della carota per gravità tramite battitura in prossimità della corona terminale. In tal caso si avrà la massima cura nel raccogliere il materiale estruso in diversi recipienti di volume ridotto, che andranno immediatamente svuotati nella cassa porta carote nella posizione corrispondente alla profondità di carotaggio, impedendo rimescolamenti del materiale. Si eviterà inoltre, per quanto possibile, di contaminare e dilavare il terreno con l'acqua contenuta in testa al carotiere.

Qualora richiesto dalla Società, potrà essere necessario utilizzare un tampone a tenuta da sistemare in testa al carotiere in tutte le fasi di estrusione, per evitare qualunque contatto tra fluido di circolazione e terreno.

Nei litotipi rocciosi il carotaggio sarà preferibilmente eseguito utilizzando il carotiere doppio (T2, T6) o triplo (T6S), usando il fluido di circolazione, con o senza additivi. La presenza del campionatore T6S è raccomandata particolarmente in presenza di litotipi argillitici a forte componente pelitica o siltitica. L'estrusione della carota con campionatori T2 e T6 avverrà ad estrazione per gravità, eventualmente tramite leggera battitura alla base del carotiere una volta estratta la corona.

Qualora necessario, per litotipi rocciosi particolarmente friabili carotati con T2 o T6, si provvederà all'estrusione per pressione idraulica, previa estrazione della camicia interna contenente la carota,

e inserimento di una testa a misura collegata alla pompa di servizio. Con il campionatore T6S, la rimozione della carota potrà avvenire tramite apertura longitudinale della camicia.

I carotieri saranno azionati ad aste; è ammesso, in alternativa, l'uso di sistemi "wire-line" purché si ottenga la percentuale di carotaggio richiesta e non si producano dilavamenti e/o rammollimenti del materiale. L'utilizzo di sistemi "wire-line" dovrà comunque essere subordinato a preventiva approvazione da parte della Tecne.

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

2.1.6.4 Rivestimento provvisorio

La perforazione sarà seguita dal rivestimento provvisorio in assenza di sufficiente autosostentamento delle pareti del foro. Salvo diversa autorizzazione della Società, il rivestimento dovrà essere sempre e comunque utilizzato in presenza di terreni sciolti, e qualora sia previsto il prelievo di campioni indisturbati, l'esecuzione di prove in foro e/o l'installazione di strumentazione in foro.

Nell'infissione del rivestimento si adotteranno tutti gli accorgimenti atti ad evitare il disturbo del terreno naturale. In particolare, la portata del fluido di circolazione immesso (quando utilizzato) e la velocità di avanzamento saranno tali da evitare aumenti eccessivi della pressione del fluido in testa alla batteria.

I tubi di rivestimento dovranno essere infissi in alternanza alle manovre di carotaggio, fino alla quota di fondo foro precedentemente raggiunta.

Le manovre di rivestimento possono essere eseguite con l'uso di fluido in circolazione, curando che la pressione del fluido sia la minore possibile, controllata mediante manometro. Il disturbo arrecato al terreno dovrà essere contenuto al minimo, se necessario fermando la scarpa del rivestimento a circa 50 cm dal fondo foro (con l'esclusione del metodo wire-line), in modo da non investirlo in misura eccessivamente diretta con il getto di fluido in pressione.

2.1.6.5 Stabilità a fondo foro

La stabilità del fondo foro sarà assicurata in ogni fase della lavorazione con particolare attenzione nei casi in cui il terreno necessiti di rivestimento provvisorio. Il battente di fluido in colonna deve essere mantenuto prossimo a bocca foro mediante rabbocchi progressivi, specialmente durante l'estrazione del carotiere e delle aste, che dovrà avvenire con velocità iniziale molto bassa (1÷2 cm/s) ed essere eventualmente intervallata da pause di attesa per il ristabilimento della pressione idrostatica del fluido sul fondo foro. Ciò riguarda tanto l'estrazione del carotiere quanto quella delle fustelle dei campionatori, ad infissione conclusa. Devono essere evitati indesiderabili effetti di risucchio che possono anche verificarsi nel caso di brusco sollevamento della batteria di rivestimento, qualora occlusa all'estremità inferiore dal terreno per insufficiente circolazione di fluido durante l'infissione.

2.1.6.6 Campionamento e Pulizia del fondo foro

Il prelievo di campioni indisturbati con campionatori "aperti" e l'esecuzione di prove geotecniche in foro dovranno essere preceduti dalla manovra di pulizia di fondo foro, da effettuarsi una volta ultimata l'infissione del rivestimento provvisorio. Tale procedura si rende necessaria per evitare che il prelievo o la prova interessino uno strato di terreno disturbato dal fluido di circolazione.

Al termine della manovra di pulizia la quota del fondo foro sarà misurata con scandaglio a filo

MSQX-MSD-Rev0

La sola edizione controllata del documento è quella diffusa attraverso la rete informatica.

Tutte le copie disponibili su carta o su qualsiasi altro supporto, escluso l'originale, non sono soggette a controllo e il loro stato di aggiornamento deve essere verificato prima dell'uso.

graduato. La quota raggiunta con la perforazione e successiva pulizia non dovrà differire dalla € quota misurata con lo scandaglio di oltre 10 cm.

Qualora si proceda al prelievo di campioni indisturbati con campionatore a pistone fisso o sganciabile meccanicamente, la manovra di pulizia si renderà necessaria qualora la quota di fondo foro, misurata con lo scandaglio, differisca di oltre 10 cm dalla quota di fine perforazione.

2.1.6.7 Controllo della lunghezza delle batterie di aste

Qualora richiesto, la lunghezza delle batterie di aste inserite nel foro sarà misurata e riportata, a cura del geologo responsabile del cantiere, in una apposita tabella, onde prevenire imprecisioni nella definizione delle profondità raggiunte.

2.1.7 FLUIDI DI CIRCOLAZIONE

Il fluido di circolazione, qualora consentito, tanto nelle fasi di perforazione quanto per l'infissione del rivestimento, potrà essere costituito da:

- acqua;
- fango bentonitico;
- fanghi polimerici.

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

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

L'Impresa potrà proporre l'uso di fluidi diversi dai sopra elencati, subordinandone comunque l'uso alla preventiva approvazione da parte della Società, con la condizione che in ogni caso il fluido prescelto, oltre ad esercitare le funzioni di raffreddamento, asportazione detriti ed eventuale sostentamento, sia in grado di non pregiudicare la qualità del carotaggio, l'esito delle prove geotecniche ed il funzionamento della strumentazione.

Qualunque eventuale fluido di perforazione dovrà in ogni caso rispettare i requisiti di legge in termini di materia ambientale.

2.1.8 RILIEVO STRATIGRAFICO

2.1.8.1 Normative e specifiche di riferimento

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

Quando espressamente richiesto potrà anche farsi riferimento alla seguenti specifiche tecniche:

- EN ISO 14688-1:2018 - Geotechnical Investigation and Testing - Identification and Classification of Soil - Part I: Identification and Description.
- EN ISO 14688-2:2018 - Geotechnical Investigation and Testing - Identification and Classification of Soil - Part II: Principle for a Classification.
- ISO 14689:2017- Geotechnical investigation and testing - Identification and classification of rock - Part 1: Identification and description

L'Impresa dovrà in ogni caso attenersi a quanto di seguito specificato.

2.1.8.2 Dati generali e tecnici

Il geologo responsabile del cantiere compilerà la stratigrafia del sondaggio sulla minuta stratigrafica di campagna, completandola con gli elementi elencati nei punti successivi.

Laddove sia previsto il rilievo stratigrafico il geologo dovrà sempre e comunque essere provvisto della seguente strumentazione:

- modulo stratigrafico di campagna (minuta), conforme a quanto riportato al capitolo 1.3.1, da compilarsi secondo le indicazioni riportate nel suddetto capitolo;
- metro a nastro
- lente di ingrandimento 8X o 10X;
- spatola in acciaio flessibile o strumento a filo armonico, per il taglio e la sbucciatura delle carote;
- acido cloridrico diluito dal 5 al 12 %;
- penetrometro tascabile, a stilo o a quadrante, con fondo scala non inferiore a 0 - 5 kg/cm² (0 - 0.5 N/m²) . In particolari situazioni potrà risultare necessario l'utilizzo di uno strumento con fondo scala 0 - 10 kg/cm².
- scissometro tascabile, di tipo norvegese o a paletta, provvisto di eventuali adattatori per fondo scala non inferiore a 0 - 10 kg/cm² (0 - 1 N/cm²).

Dovranno essere indicati sempre i seguenti dati:

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2
- date di inizio e fine perforazione;
- nome del compilatore e nome del sondatore
- metodo di perforazione;
- attrezzature impiegate;
- documentazione fotografica (foto della sonda installata sul punto di indagine)
- diametro di perforazione;
- diametro e quota raggiunta dal rivestimento;
- tipo di fluido di circolazione impiegato;
- quota di inizio e fine delle singole manovre;
- produzione giornaliera (in m di perforazione)
- quota di testa foro assoluta (m s.l.m.) o relativa e sua ubicazione planimetrica.
- percentuale di recupero ed eventuale mancato carotaggio;
- velocità di avanzamento;
- presenza di cavità;
- perdita di fluido di circolazione e venute d'acqua in pressione;
- rifluimenti in colonna;
- eventuale eruzione di gas a boccaforo;
- manovre di campionamento o prove non condotte a termine.

2.1.8.3 Descrizione stratigrafica

La descrizione stratigrafica del sondaggio dovrà essere compilata dal geologo responsabile di cantiere. La descrizione dovrà essere eseguita sulla base di quanto riportato nel seguito.

Dovrà essere evitata qualunque interpretazione di tipo stratigrafico o formazionale, a meno che non sia stata esplicitamente richiesta e concordata con la Società.

La descrizione stratigrafica dovrà specificare per ogni tratto omogeneo individuato:

- tipo di terreno (granulometria e grado di arrotondamento dei clasti);
- litologia;
- condizioni di umidità naturale;
- compattezza (consistenza o addensamento);
- R.Q.D.;
- alterazione;
- colore;
- struttura;
- particolarità;

2.1.8.3.1 *Tipo di terreno*

Il compilatore farà riferimento alla tabella che segue:

Granulometria generale dei clasti

definizione		diametro dei grani [mm]	criteri di identificazione
blocchi		>200	- visibili ad occhio nudo
ciottoli		(60) 75-200	
ghiaia	grossolana	20-75 (60)	
	media	6-20	
	fine	2-6	
sabbia	grossolana	0.6-2	
	media	0.2-0.6	
	fine	0.075-0.2	
limo		0.002-0.075	- 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 polverizzarsi tra le dita
argilla		<0.002	- plastica - non dilatante - liscia al tatto - appiccica alle dita - si disgrega in acqua lentamente - asciuga lentamente - si ritira durante l'essiccazione - i frammenti asciutti possono essere rotti ma non polverizzati fra le dita
organico o vegetale			- contiene una rilevante percentuale di sostanze organiche vegetali
torba			- prevalgono resti lignei non mineralizzati - colore scuro - bassa densità

Nella stesura della descrizione si elenca per primo il nome del costituente principale seguito dal costituente secondario nella seguente forma, in accordo alle Raccomandazioni AGI (1977, modificato):

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

Della frazione ghiaiosa e ciottolosa occorre specificare il grado di arrotondamento, con riferimento alla tabella che segue:

Nel caso si operi con materiale vulcanico e piroclastico sciolto, le suddette descrizioni granulometriche potranno essere precedute dalle seguenti definizioni:

Granulometria dei termini piroclastici

<i>definizione</i>	<i>diametro dei grani [mm]</i>
bomba e blocco	> 64
lapillo	64 - 2
cenere grossolana	2 - 0.06
cenere fine	< 0.06

Tra i componenti dei depositi piroclastici potranno esserci:

- frammenti iuvenili (scorie, pomici),
- cristalli (interi, frammenti, accessori),
- litici (accidentali, accessori).

Si indicherà anche il grado di arrotondamento prevalente:

GRADO DI ARROTONDAMENTO

<i>definizione</i>	<i>Descrizione</i>
angolare	nessuno 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 precisare:

- il diametro massimo (\varnothing_{max}) di ghiaia, ciottoli o blocchi;
- il grado di uniformità della composizione granulometrica;
- la forma prevalente dei grani;
- le litologie predominanti (es. calcaree, arenacee, basaltiche, metamorfiche, ecc.).

2.1.8.3.2 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. In particolare, dovrà essere segnalato l'eventuale utilizzo di fluido di perforazione, laddove autorizzato.

2.1.8.3.3 *Compattezza*

Il grado di compattezza dovrà essere descritto in termini di consistenza nel caso di terreni coesivi (argille e limi) e in termini di addensamento nel caso di terreni non coesivi (sabbie e ghiaie).

Lo stato di consistenza dei terreni coesivi verrà descritto sulla base delle prove manuali indicate nella tabella che segue e misurando 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 fortemente disturbato).

In aggiunta alle prove eseguite con il penetrometro tascabile dovranno essere eseguite, sempre sulla carota appena estratta e scortecciata e alternandole alle prime, prove con lo scissometro tascabile; i risultati dovranno essere annotati nell'apposita colonna in stratigrafia.

STATO DI CONSISTENZA DEI TERRENI COESIVI

<i>definizione</i>	<i>resistenza al penetrometro tascabile [kg/cm²]</i>	<i>prove manuali</i>
molto tenero	< 0.25	- espelle acqua quando strizzato fra le dita
tenero	0.25 - 0.5	- si modella fra le dita con poco sforzo - si scava facilmente
mediamente consistente	0.5 - 1.0	- si modella fra le dita con un certo sforzo - offre una certa resistenza allo scavo
consistente	1.0 - 2.0	- non si modella fra le dita - è difficile da scavare
molto consistente	2.0 - 4.0	- è molto resistente fra le dita - si scava con molta difficoltà
duro	> 4.0	

Il grado di compattezza dei terreni non coesivi (addensamento) verrà descritto con riferimento alla tabella che segue, sulla base dei risultati di prove SPT:

GRADO DI ADDENSAMENTO DEI TERRENI NON COESIVI

<i>descrizione</i>	<i>N_{SPT} [colpi/30 cm]</i>	<i>prove manuali</i>
sciolto	0-4	- si scava facilmente con un badile
poco addensato	4-10	- si scava abbastanza facilmente con un badile e si penetra con una barra
moderatamente addensato	10-30	- difficile da scavare con un badile o da penetrare con una barra
addensato	30-50	- molto difficile da penetrare; si scava con un piccone
molto addensato	>50	- difficile da scavare con un piccone

2.1.8.3.4 R.Q.D.

Nel caso di sondaggi in roccia, dove il grado di alterazione non è intenso o elevato, dovrà essere determinata la percentuale di recupero modificata (R.Q.D.) in accordo alla seguente espressione:

$$RQD = \frac{\sum l_i}{l_f} * 100 \quad [\%]$$

dove:

l_i = singole lunghezze degli spezzoni di carota maggiori di 10 cm

l_f = lunghezza totale del tratto perforato

In accordo con le Raccomandazioni ISRM (1978), in caso di fratture oblique, la lunghezza del singolo spezzone di carota dovrà essere misurato in corrispondenza dell'asse della carota. Inoltre, se la carota viene rotta maneggiandola oppure viene rotta dalle operazioni di carotaggio (in tal caso le superfici di rottura sono fresche e perfettamente ricomponibili), i pezzi corrispondenti dovranno essere rimessi insieme e contati come un unico pezzo, a patto che raggiungano la lunghezza richiesta di 10 cm.

Salvo diversa autorizzazione della società, il valore di RQD dovrà essere determinato per ogni metro di lunghezza e comunque in modo tale da permettere una accurata definizione della sua variabilità e una adeguata localizzazione delle zone con valore di RQD basso o nullo.

2.1.8.3.5 Alterazione

Nel caso di sondaggi in roccia si dovrà definire il grado di alterazione, anche in funzione dell'applicabilità delle misure di R.Q.D., con riferimento alla seguente terminologia.

GRADO DI ALTERAZIONE

<i>definizione</i>	<i>descrizione</i>
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 tra loro.
Intensa	La roccia è completamente decolorata, decomposta e friabile, con l'aspetto esteriore di un suolo. Internamente la struttura originale può essere riconoscibile, ma la separazione tra i cristalli è completa.

Nel caso di sondaggi in terreni grossolani si dovrà evidenziare la presenza di ghiaia o ciottoli alterati, definendo il tipo litologico e il grado di alterazione (sviluppo di cortex superficiali, arenizzazione dei clasti cristallini e metamorfici, decarbonatazione e argillificazione dei clasti carbonatici) e, se possibile, la percentuale dei clasti alterati.

2.1.8.3.6 Colore

Sarà riportato il colore dominante e la sua gradazione, la luminosità relativa e il tono. Saranno indicate eventuali colorazioni accessorie sotto forma di screziature, lenti o livelli; nei terreni grossolani il colore da descrivere è quello della matrice.

Nel caso di sondaggi in roccia si avrà cura di distinguere il colore della roccia intatta da quello delle superfici delle fratture o discontinuità, evidenziando ciò che può dare indicazioni sulla presenza di filtrazione idrica.

Qualora sia richiesto, nei sondaggi in terreno, il colore sarà descritto facendo riferimento alle carte colorimetriche Munsell, con definizione del colore dominante e della sua gradazione (*hue*), della luminosità relativa (*value*) e del tono (*chroma*) e facendo riferimento al nome colorimetrico corrispondente (ad es. 5YR 5/3 bruno-rossastro).

2.1.8.4 Struttura

Si definiranno gli elementi significativi della struttura di rocce e terreni, indicando con struttura la presenza o assenza di discontinuità, loro spaziatura e inclinazione rispetto all'asse di perforazione, con riferimento a quanto di seguito specificato.

Stratificazione

Il litotipo potrà essere massivo, stratificato, malstratificato.

Si dovranno indicare i piani di strato visibili, precisandone la spaziatura, in accordo alla seguente tabella.

STRATIFICAZIONE

<i>spaziatura media [mm]</i>	<i>descrizione</i>
> 2000	stratificazione in banchi
600÷2000	strati di elevato spessore
200÷600	strati di medio spessore
60÷200	strati di sottile spessore
20÷60	strati di spessore molto sottile
6÷20	laminazione
< 6	sottile laminazione

Si indichi anche la presenza di eventuali strutture sedimentarie, quali stratificazione o laminazione incrociate.

Regolari alternanze di diversi tipi litologici (es. sabbie e argille, marne e calcareniti) possono essere definite con il termine di “interstratificazione”.

Fratturazione

Si dovrà indicare la spaziatura delle fratture (giunti o discontinuità) in accordo alle Raccomandazioni ISRM (1978).

SPAZIATURA DELLE FRATTURE

<i>spaziatura media [mm]</i>	<i>descrizione</i>
> 6000	fratture estremamente distanziate
2000÷6000	fratture molto distanziate
600÷2000	fratture distanziate
200÷600	fratture moderatamente distanziate
60÷200	fratture ravvicinate
20÷60	fratture molto ravvicinate
< 20	fratture estremamente ravvicinate

Scistosità, piani di taglio

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

Strutture particolari

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

2.1.8.4.1 Particolarità aggiuntive

Si devono indicare tutte le caratteristiche significative ai fini della caratterizzazione geotecnica dei terreni, le quali non siano già inserite in qualcuno dei già elencati parametri descrittivi.

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

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

2.1.8.4.2 Litologia

Il tipo litologico sarà definito nel caso dei clasti di terreni non coesivi grossolani e nel caso di rocce.

Nel seguito si indicano alcuni criteri classificativi relativi ad alcune categorie di comune reperimento; qualora il tipo litologico da descrivere non rientri nei casi sottoelencati, sarà cura del geologo responsabile di cantiere indicare, sia pure per categorie principali, la corretta definizione. Ciò vale in particolare per le rocce cristalline intrusive ed effusive e per le rocce metamorfiche, per le quali i sistemi di classificazione sono basati sulla composizione mineralogica o chimica e non possono essere riassunti completamente nel presente testo, sia per la loro complessità che per il fatto di richiedere determinazioni diverse dalla sola osservazione macroscopica o dai semplici criteri di prova applicabili in cantiere.

CLASSIFICAZIONE DELLE ROCCE SEDIMENTARIE TERRIGENE E CARBONATICHE

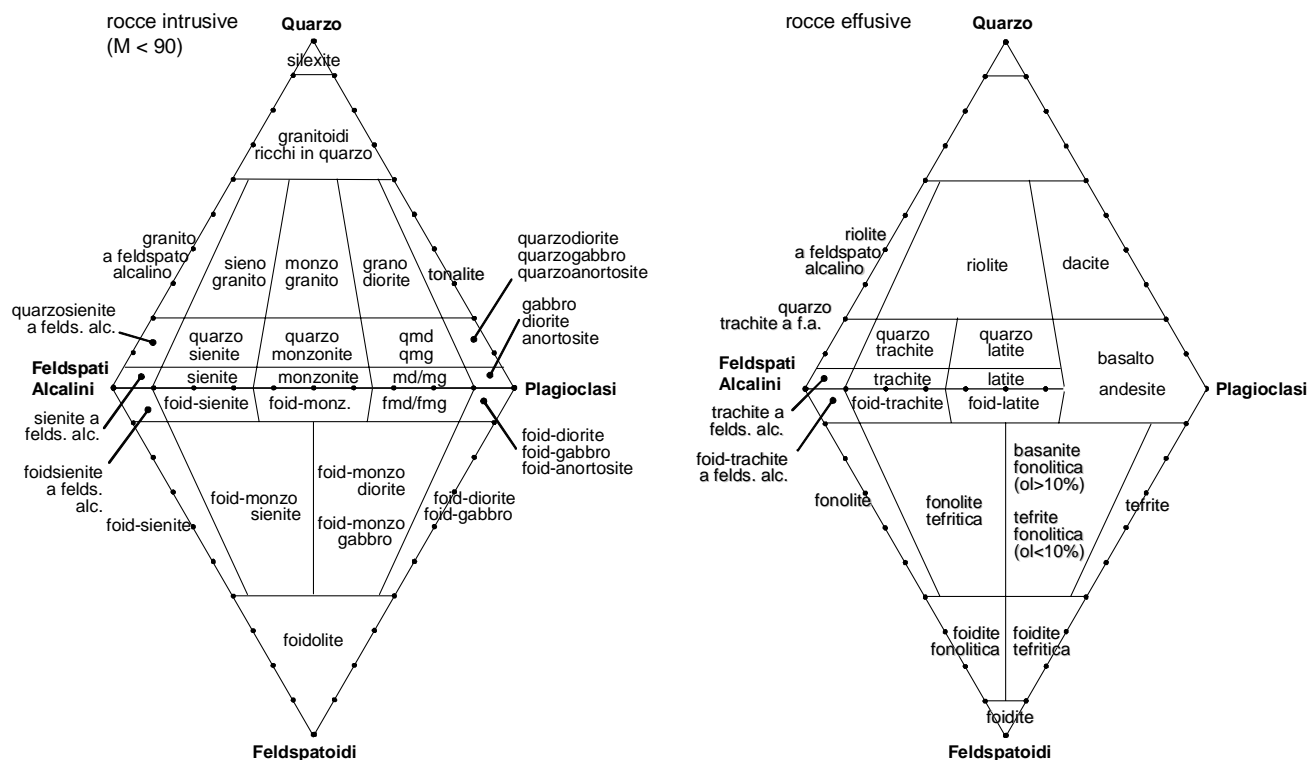
<i>Granulometria clasti costituenti</i>		<i>definizione</i>			
		<i>clasti terrigeni</i>		<i>clasti carbonatici</i>	
argilla		argillite		calcilutite	
limo		siltite		calcsiltite	
sabbia	fine	Arenaria	fine	calcarenite	fine
	media		media		media
	grossa		grossolana		grossolana
ghiaia	fine	Conglomerato (clasti arrotondati) breccia (clasti spigolosi)	fine	calcirudite	fine
	media		media		media
	grossa		grossolana		grossolana

**ROCCE SEDIMENTARIE TERRIGENE E CARBONATICHE:
TERMINI DI TRANSIZIONE**

<i>tenore in CaCO₃ [%]</i>	<i>descrizione</i>
0-5	argillite (argilla)
5-15	argillite debolmente marnosa
15-25	argillite marnosa
25-35	marna argillosa
35-65	marna
65-75	marna calcarea
75-85	calcilutite marnosa
85-95	calcilutite debolmente marnosa
95-100	calcilutite

Premesso che il tenore in CaCO₃ può essere valutato solo tramite specifico esame di laboratorio, in cantiere esso può essere stimato in base al grado di effervescenza dell'acido cloridrico diluito al 5%. La tabella sopra riportata potrà essere utilizzata come guida per la descrizione dei termini di passaggio.

CLASSIFICAZIONE IUGS DELLE ROCCE MAGMATICHE INTRUSIVE ED EFFUSIVE



SCHEMA CLASSIFICATIVO DELLE ROCCE IGNEE (utilizzabile sul terreno)

Indice di Colore M (*)	> 90	90 - 40	40 - 20				< 20
quarzo	assente	scarso	diffuso	scarso			abbondante
feldspati	assente o scarso	plagioclasio >> feldspato alcalino	plag. > felds.alc.	plag. ≈ felds.alc.	plagioclasio < feldspato alcalino		
rocce vulcaniche		<u>basalto</u>	<u>andesite</u>	<u>dacite</u>	<u>latite</u>	<u>trachite</u>	<u>riolite</u>
rocce plutoniche	<u>peridotite</u> <u>pirossenite</u> <u>e dunite</u>	<u>gabbro</u>	<u>diorite</u>	<u>grano-diorite</u>	<u>monzonite</u>	<u>sienite</u>	<u>granito</u>

(*) - Indice di colore M: presenza in percentuale di minerali femici colorati (olivine, pirosseni, anfiboli, biotite).

SCHEMA CLASSIFICATIVO DELLE ROCCE METAMORFICHE

Metamorfismo di grado molto basso

Roccia di provenienza	Paragenesi metamorfica	Roccia metamorfica
Rocce pelitiche	minerali argillosi + miche bianche + quarzo + clorite ± albite	Ardesie
Rocce vulcaniche basiche	albite + zeoliti + cloriti + prehnite ± quarzo ± epidoti	Metabasalti, rocce verdi

Metamorfismo di grado basso

Roccia di provenienza	Paragenesi metamorfica	Roccia metamorfica
Rocce pelitiche	muscovite + quarzo + clorite ± albite ± epidoti	Filladi
Rocce arenacee	quarzo + albite + microclino + muscovite ± epidoti ± clorite	Paragneiss albitici
Calcari	calcite ± dolomite ± quarzo ± epidoti ± albite ± muscovite	Marmi, Calcescisti
Rocce vulcaniche acide	quarzo + albite + microclino + muscovite ± epidoti ± clorite	Porfiroidi
Rocce basaltiche	clorite + albite + epidoti + actinolite ± quarzo ± biotite	Scisti verdi, cloritoscisti, prasiniti
Rocce ultramafiche	serpentino ± magnetite ± talco ± magnesite ± brucite	Serpentiniti, serpentinoscisti
	talco ± brucite ± clorite	Talcoscisti

Metamorfismo di grado intermedio

<i>Roccia di provenienza</i>	<i>Paragenesi metamorfica</i>	<i>Roccia metamorfica</i>
Rocce pelitiche	(alta P) muscovite + quarzo ± biotite ± plagioclasti ± staurolite ± cianite ± granato (almandino) (bassa P) muscovite + quarzo ± biotite ± plagioclasti ± staurolite ± andalusite ± cordierite	Micascisti
Rocce arenacee	quarzo + plagioclasti + microclino + muscovite + biotite ± granato (almandino)	Paragneiss
Calcari	calcite ± quarzo ± diopside ± granato (grossularia) ± wollastonite ± orneblenda o tremolite ± plagioclasti ± scapolite	Marmi, marmi a silicati
Rocce magmatiche acide	quarzo + plagioclasti + microclino + muscovite + biotite ± granato (almandino)	Gneiss granitoidi, ortogneiss
Rocce basaltiche	orneblenda + plagioclasti ± granato (almandino) ± quarzo ± titanite ± biotite ± diopside	Anfiboliti
Rocce ultramafiche	antofillite ± orneblenda ± granato (almandino) ± diopside ± forsterite	Anfiboliti

Metamorfismo di grado alto

<i>Roccia di provenienza</i>	<i>Paragenesi metamorfica</i>	<i>Roccia metamorfica</i>
Rocce pelitiche	quarzo + biotite + granati + sillimanite + plagioclasti ± ortoclasio ± cordierite	Gneiss biotitico-illimanitici, kinzigiti
Rocce arenacee	quarzo + plagioclasio + ortoclasio ± biotite ± sillimanite ± granati ± cordierite	Gneiss
Calcari	alcite + orneblenda + diopside ± plagioclasti ± scapoliti ± Ca-granato ± forsterite	Marmi
Rocce magmatiche acide	quarzo + plagioclasio + ortoclasio ± biotite ± sillimanite ± granati ± cordierite	Ortogneiss, gneiss
Rocce basaltiche	orneblenda ± cummingtonite ± antofillite ± plagioclasti ± diopside ± granato (almandino)	Anfiboliti
Rocce ultramafiche	antofillite, cummingtonite, gedrite ± orneblenda ± granati	Anfiboliti
	orneblenda + olivina + spinelli	Peridotiti anfiboliche

Metamorfismo di grado molto alto (granuliti)

<i>Roccia di provenienza</i>	<i>Paragenesi metamorfica</i>	<i>Roccia metamorfica</i>
Rocce pelitiche	quarzo + ortoclasio pertitico + Na-plagioclasii antipertitici + granati + sillimanite ± iperstene ± augite ± rutilo ± biotite	Granuliti
Rocce arenacee	quarzo + ortoclasio pertitico + Na-plagioclasii antipertitici ± granati ± sillimanite ± rutilo ± corindone ± biotite	Granuliti acide
Calcari	alcite ± diopside ± plagioclasii ± scapolite ± forsterite	Marmi
Rocce magmatiche acide	quarzo + ortoclasio pertitico + Na-plagioclasii antipertitici ± granati ± sillimanite ± rutilo ± corindone ± biotite	Granuliti acide
Rocce basaltiche	Ca-plagioclasii + iperstene ± augite ± granati ± spinelli ± scapoliti ± rutilo ± anfiboli ± quarzo	Granuliti basiche
Rocce ultramafiche	olivine ± pirosseni ± spinelli ± plagioclasii ± orneblenda	Peridotiti
	pirosseno ± olivina ± orneblenda ± plagioclasii	Pirosseniti

2.1.9 RILIEVO DELLA FALDA

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

- profondità del livello dell'acqua rispetto a p.c.;
- quota del fondo foro;
- quota della scarpa del rivestimento;
- data e ora della misura.

Ulteriori misurazioni sistematiche di falda potranno essere richieste dalla Società nel corso delle lavorazioni (es. dopo pausa pranzo, a fine turno di lavoro)

Tali informazioni dovranno comparire anche nella documentazione definitiva del lavoro.

2.1.10 CASSETTE CATALOGATRICI

Le carote estratte nel corso della perforazione verranno sistemate in apposite cassette catalogatrici munite di setti divisori e coperchio apribile a cerniera, che, nel caso di carote di diam. ≤ 101 mm, consentano la conservazione di 5 m di carotaggio. La profondità minima e massima relativa alle carote contenute in ogni cassa sarà sempre in multiplo di 5 (0-5m, 5-10m, 10-15m, ecc.).

Il riempimento progressivo delle casse avverrà da sinistra a destra e dall'alto in basso. Laddove la perforazione sia iniziata o termini a profondità intermedie si lasceranno vuoti gli intervalli relativi alle profondità non carotate; analogamente, si lasceranno vuoti tutti i tratti corrispondenti alle profondità in cui non si abbia alcun recupero di materiale o laddove siano stati prelevati campioni in corso di perforazione. Pertanto, lungo ogni setto divisore saranno sempre raccolte carote per profondità comprese tra multipli di 1 (0-1m, 1-2m, 2-3m, ecc.). All'inizio e alla fine di ogni setto sarà

MSQX-MSD-Rev0

La sola edizione controllata del documento è quella diffusa attraverso la rete informatica.

Tutte le copie disponibili su carta o su qualsiasi altro supporto, escluso l'originale, non sono soggette a controllo e il loro stato di aggiornamento deve essere verificato prima dell'uso.

trascritto, con carattere indelebile, la profondità corrispondente.

Sul bordo anteriore e sul coperchio di ogni cassa dovranno essere riportate, con caratteri indelebili (preferibilmente utilizzando vernice o smalto), tutte le informazioni identificative del sondaggio:

- nome impresa;
- committente;
- cantiere ed eventuale fase;
- data;
- n. sondaggio;
- n. cassa;
- intervalli di profondità delle carote.

Le cassette catalogatrici potranno essere di materiali diversi (legno pieno, metallo o plastica) in relazione alle indicazioni ricevute dalla Società a inizio lavorazioni; in assenza di specifiche indicazioni è raccomandato l'utilizzo di casse in materiale plastico; in ogni caso le casse dovranno essere sufficientemente rigide e resistere agli agenti atmosferici per almeno 2 anni solari, e dovranno essere sufficientemente robuste da poter essere impilate una sull'altra per lo stoccaggio senza alcun danneggiamento.

Qualora richiesto (in particolare per casse in legno o metallo), sul fondo cassa verrà preventivamente inserito un foglio di polietilene tagliato a misura, di lunghezza sufficiente da ricoprire superiormente le carote da entrambi i lati lunghi della cassa, evitandone il diretto contatto con il coperchio del contenitore.

Le carote di terreno coesivo verranno scortecciate, le lapidee lavate. Dei setti separatori suddivideranno i recuperi delle singole manovre, recando indicate le quote rispetto al piano campagna. Negli scomparti inoltre dovranno essere inseriti testimoni (blocchetti di legno o simili) ad indicare i campioni indisturbati e gli spezzoni di carota prelevati ed asportati per il laboratorio, con le quote di inizio e fine prelievo. Qualora richiesto dovranno anche essere indicati gli spt eseguiti (quota e numero di colpi) e le quote relative alle altre prove eseguite in foro.

2.1.10.1 Fotografie a colori

Le singole cassette verranno fotografate a colori entro 24 ore dal loro completamento. Dovrà essere assicurata la completa leggibilità di tutte le annotazioni riportate sulla cassetta ed una visione chiara delle carote contenute. Le fotografie dovranno essere eseguite con macchina digitale, con risoluzione non inferiore a 3.2 Megapixel.

Quando esplicitamente richiesto, le fotografie, a colori dovranno essere trasmesse in minuta al termine di ogni singolo sondaggio,.

Le foto a colori saranno allegate alla documentazione definitiva del sondaggio nel numero di copie richiesto dalla Società. In ogni caso, in almeno due copie della documentazione definitiva le foto a colori saranno in formato non inferiore a 9x13 cm.

2.1.11 RIEMPIMENTO DEI FORI DI SONDAGGIO

Ad ultimazione della perforazione, in tutti i casi in cui non sia prevista la posa di strumentazione, il foro di sondaggio potrà essere riempito con ghiaia fine o materiale di risulta.

Quando espressamente richiesto dalla società, il riempimento sarà effettuato con una miscela cementizia a ritiro controllato, ovvero costituita dai seguenti componenti nelle proporzioni elencate

(in peso):

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

Il cemento sarà normalmente del tipo Portland convenzionale. In talune situazioni, per esempio per la cementazione di tubi per geofisica in foro a contatto con terreni, potrà ritenersi idonea una miscela alleggerita, al fine di avere una densità più prossima a quella del terreno circostante. Ciò avverrà tramite aumento della presenza di bentonite a scapito del cemento (fino a un rapporto 50/50), pur mantenendo inalterate le proporzioni in peso complessive tra acqua e parti solide.

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

2.2 SONDAGGIO A ROTAZIONE A DISTRUZIONE DI NUCLEO

La perforazione a rotazione a distruzione di nucleo consente di realizzare fori di sondaggio nei quali eseguire prove e/o installare strumentazione di vario genere e tipo. La realizzazione di fori a distruzione di nucleo dovrà essere sempre eseguita tenendo conto di quanto prescritto per le prove o la strumentazione per cui il foro è realizzato.

La perforazione a rotazione a distruzione di nucleo potrà essere necessaria anche per la realizzazione di prefiori per alcune prove in sito, quali prove penetrometriche statiche o prove dilatometriche DMT.

2.2.1 ATTREZZATURE DI PERFORAZIONE

Per la perforazione a distruzione di nucleo potranno essere impiegate sonde a rotazione, complete di pompa per la circolazione di fluidi.

Altre sonde o modalità di perforazione (elica continua, martello di fondo foro) potranno essere proposte dall'Impresa; il loro utilizzo dovrà comunque essere subordinato ad approvazione da parte della Società.

Per l'eventuale impiego di fanghi di circolazione vale quanto già riportato nel capitolo 2.1.7. In tal caso dovrà essere presente, in prossimità della sonda, l'impianto per la preparazione ed il recupero degli stessi.

2.2.2 UTENSILI DI PERFORAZIONE

Potranno essere impiegati i seguenti tipi di utensili:

- triconi o utensili a distruzione dotati di fori radiali per la fuoriuscita del fluido;
- carotieri semplici o doppi;
- altri utensili proposti dall'Impresa, il cui utilizzo dovrà essere subordinato ad approvazione da parte della Società.

Il diametro di perforazione, generalmente compreso tra 100 e 150 mm (ma estendibile fino a 420 mm), sarà definito volta per volta in funzione della finalità del foro, delle prove da eseguire o degli strumenti da installare, e verrà indicato dalla Società nel progetto delle indagini o verrà comunicato direttamente all'Impresa dalla Società.

2.2.3 MODALITÀ ESECUTIVE

Saranno 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.

2.2.4 DOCUMENTAZIONE

Per ciascun foro si compilerà una scheda di perforazione contenente le seguenti indicazioni:

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2
- metodo di perforazione;
- attrezzature impiegate;
- diametro di perforazione;

- tipo di fluido di circolazione impiegato;
- diametro e quota raggiunta con l'eventuale rivestimento;
- produzione giornaliera (in m di perforazione)
- quota assoluta o relativa di testa foro;
- stratigrafia approssimativa del foro in base ai detriti di perforazione;
- dati relativi alle prove da eseguire o alla strumentazione da installare.

2.2.5 REGISTRAZIONE DEI PARAMETRI DI PERFORAZIONE (DAC-TEST)

Il dac-test consiste nella registrazione in forma continua dei principali parametri di una perforazione, eseguita di norma a distruzione di nucleo, con lo scopo di riconoscere le caratteristiche stratigrafiche fondamentali del terreno, preferibilmente a partire da situazioni rese note dall'esecuzione di sondaggi di taratura a carotaggio continuo.

2.2.5.1 Caratteristiche delle attrezzature

L'attrezzatura necessaria dovrà consistere in:

- sonda a rotazione o a rotopercolazione;
- centralina elettronica per la misura, la amplificazione e la registrazione su supporto magnetico almeno dei seguenti parametri di perforazione:
 - spinta applicata all'utensile di perforazione [MPa];
 - velocità di avanzamento [m/h];
 - coppia di rotazione assorbita [MPa];
 - pressione del fluido di circolazione [MPa].

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

La centralina dovrà permettere la visualizzazione dei parametri misurati e la stampa su carta dei grafici; dovrà essere misurata, registrata e visualizzata su visore, in ogni caso, la profondità raggiunta dalla prova.

2.2.5.2 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 più resistenti.

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

2.2.5.3 Documentazione

La documentazione di prova dovrà comprendere quanto sotto elencato:

MSQX-MSD-Rev0

La sola edizione controllata del documento è quella diffusa attraverso la rete informatica.

Tutte le copie disponibili su carta o su qualsiasi altro supporto, escluso l'originale, non sono soggette a controllo e il loro stato di aggiornamento deve essere verificato prima dell'uso.

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2.
- quota assoluta o relativa di ciascuna verticale di prova;
- caratteristiche dell'attrezzatura di perforazione e delle modalità esecutive del foro;
- grafico di cantiere con i parametri misurati e registrati;
- note ed osservazioni di cantiere;
- copia dei certificati di taratura dei manometri, non anteriori di 6 mesi alla data di esecuzione della prova.

2.3 CAMPIONAMENTO GEOTECNICO IN SONDAGGIO

Lo scopo del campionamento è di ottenere campioni per l'identificazione del terreno e per l'esecuzione delle prove di laboratorio finalizzate alla determinazione delle proprietà geotecniche e geomeccaniche.

In questo capitolo si fa riferimento esclusivamente al campionamento in corso di perforazione. Il prelievo di campioni durante altri tipi di indagine (scavi e pozzetti esplorativi) o secondo modalità particolari (prelievo di campioni cubici, prelievo di campioni di grosso volume, taglio di volumi di roccia) verrà trattato nelle sezioni corrispondenti.

2.3.1 METODI DI CAMPIONAMENTO

2.3.1.1 Normative e specifiche di riferimento

- AGI Associazione Geotecnica Italiana (1977) - Raccomandazioni sulla Programmazione ed Esecuzione delle Indagini Geotecniche
- UNI EN 1997-2 (2007) - Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica. Parte 2. Indagini e prove nel sottosuolo [EN 1997-2 - Eurocode 7 - Geotechnical Design - Part 2: Ground investigation and Testing]
- UNI EN ISO 22475-1:2007 - Geotechnical Investigation and Testing - Sampling Methods and Groundwater Measurements. Part 1: Technical Principles for Execution

In ogni caso l'impresa dovrà attenersi a quanto di seguito specificato.

2.3.1.2 Categorie dei metodi di campionamento

Esistono tre diverse categorie dei metodi di campionamento:

- A. metodi di campionamento di tipo A, con i quali si ottengono campioni indisturbati, o con leggero disturbo della struttura del terreno o della roccia avvenuto durante il campionamento e/o la movimentazione dei campioni. Il contenuto d'acqua e le proprietà indici (indice dei vuoti, peso di volume, permeabilità per la roccia) corrispondono a quelle in sito. Il litotipo non ha subito alcuna modifica dei costituenti e della composizione chimica;
- B. metodi di campionamento di tipo B, con i quali si ottengono campioni con il contenuto d'acqua originario e tutti i costituenti del terreno o della roccia in sito nelle loro proporzioni originali. E' possibile identificare la disposizione generale dei diversi strati di terreno o componenti e, nei materiali rocciosi, la disposizione originaria delle discontinuità. La struttura del terreno o della roccia è più o meno disturbata.
- C. metodi di campionamento di tipo C, nei quali la struttura del terreno o della roccia è stata totalmente modificata. La disposizione generale dei diversi strati o componenti è stata modificata tanto da non consentire più l'identificazione accurata degli strati in sito. Il contenuto d'acqua può non essere rappresentativo del terreno in sito.

Le tecniche di campionamento in corso di perforazione sono a loro volta suddivise in tre categorie:

- campionamento a infissione statica, dinamica (vibroinfissione) o a percussione, eseguito con campionatore dotato di una estremità inferiore affilata e tagliente, a tubo aperto o a pistone. E' utilizzato prevalentemente per i metodi di campionamento di tipo A e B, in relazione alle modalità operative e al tipo di terreno;

- campionamento a rotoinfissione, in cui un tubo provvisto di corona o tagliente viene infisso nel suolo durante la rotazione in modo da produrre un campione a carota; il carotiere può essere a tubo singolo, a tubo doppio o triplo, con o senza rivestimento; è generalmente utilizzato per i metodi di campionamento di categoria B e solo in alcuni casi e per determinati tipi di terreno, per il metodo di categoria A;
- campionamento per trivellazione manuale o meccanica; è utilizzato comunemente come metodo di campionamento di categoria C.

2.3.2 TIPI DI CAMPIONI

Fatte salve le suddette distinzioni, In relazione alle modalità di campionamento e alle condizioni di rappresentatività del litotipo originario, si identificano i seguenti tipi di campione, da considerarsi in conformità alle corrispondenti voci di Elenco Prezzi:

- a) "indisturbato", se prelevato con campionatore aperto, a pistone, a fune, o rotativo;
- b) "spezzone di carota, di terreno o lapideo", prelevato in cassetta o durante il carotaggio.
- c) "rimaneggiato", prelevato dal materiale riposto nella cassetta catalogatrice;

I campioni indisturbati e gli spezzoni di carota lapidei devono avere caratteristiche analoghe a quanto indicato nei metodi di campionamento di tipo A.

Gli spezzoni di carota di terreno hanno caratteristiche corrispondenti a quanto indicato nei metodi di campionamento di tipo B o C, in relazione al tipo di terreno. Sono in alcune particolari condizioni possono avere caratteristiche assimilabili a quanto riportato nei metodi di campionamento di tipo A.

I campioni rimaneggiati hanno caratteristiche corrispondenti a quanto indicato nei metodi di campionamento di tipo C.

2.3.3 INDICAZIONI RELATIVE AI CAMPIONI E MODALITÀ DI PRELIEVO

I contenitori dei campioni dovranno essere contraddistinti da etichette inalterabili che indichino:

- nome identificativo della società
- cantiere e sito di indagine;
- data di prelievo;
- numero del sondaggio;
- numero progressivo del campione;
- profondità di prelievo;
- tipo di campionatore impiegato;
- parte alta del campione (per campioni indisturbati e spezzoni di carota).

Tutti i campioni prelevati nel corso di un sondaggio o di uno scavo, o a seguito dell'esecuzione di prove in foro, andranno riportati nel modulo stratigrafico di prova alla relativa quota di prelievo, con una simbologia e una numerazione progressiva che distingua i campioni rimaneggiati da quelli indisturbati, indicando inoltre il tipo di campionatore utilizzato ed il metodo di prelievo. In caso di prelievo non riuscito dovrà essere riportata a parte una nota indicante il motivo del mancato prelievo.

Per ogni campione indisturbato e per gli spezzoni di carota andrà riportata in stratigrafia la descrizione della litologia risultante alle estremità (parte alta e parte bassa del campione), una volta eseguita la pulizia.

Tutti i campioni prelevati, una volta etichettati, dovranno essere conservati al coperto, al riparo dalle intemperie, dal sole o da altre fonti di calore, fino all'avvenuta consegna in laboratorio.

2.3.3.1 Campioni indisturbati di terreno

I campionatori da utilizzarsi impiegano la fustella a pareti sottili in acciaio inox (o in materiale plastico, per alcuni tipi di campionatori rotativi), nel rispetto dei seguenti parametri dimensionali:

- rapporto $L/D_{int}^3 \geq 7.5$

- coefficiente di parete (o rapporto delle aree):

$$C_p = \frac{D_{est}^2 - D^2}{D^2} * 100 \leq 15$$

- coefficiente di ingresso (o coefficiente di spoglia interna):

$$C_i = \frac{D_{int} - D}{D} * 100 = \begin{matrix} 0.0 \div 0.5 & \text{(per campioni corti)} \\ 0.75 \div 1.5 & \text{(per campioni lunghi)} \end{matrix}$$

- diametro utile ≥ 85 mm per campioni rotativi e ≥ 100 mm per campionatori a pressione, salvo diversa autorizzazione della Società; in particolare non è ammesso l'utilizzo di campionatori a pressione di diametro pari a 90 mm o inferiore, se non esplicitamente autorizzato.

dove:

L = lunghezza utile della fustella
 D_{est} = diametro esterno della fustella
D = diametro interno all'imboccatura della fustella
 D_{int} = diametro minimo interno della fustella

La fustella dovrà essere liscia, priva di cordoli, e non dovrà essere ovalizzata.

Il prelievo dei campioni potrà essere eseguito, secondo richiesta, utilizzando i seguenti campionatori:

- 1) campionatore a pistone infisso idraulicamente, tipo Osterberg;
- 2) campionatore a pistone infisso meccanicamente, tipo Hvorslev (a doppia batteria di aste) oppure Ro-Ne (a fune);
- 3) campionatore rotativo a pareti sottili, tipo CRAPS;
- 4) altri campionatori (il cui utilizzo sarà subordinato alla preventiva autorizzazione da parte della Società).

Circa le caratteristiche dei diversi tipi di campionatore valgono le seguenti considerazioni:

- Il campionatore a pistone ad infissione idraulica tipo Osterberg è il più comune dei tipi a pistone; potrà essere utilizzato con profitto in terreni coesivi aventi resistenza al taglio non drenata ≤ 2 kg/cm², in relazione alla potenza della pompa utilizzata; il suo utilizzo potrà risultare idoneo anche in sabbie, da sciolte a mediamente addensate. L'Impresa incaricata delle indagini sarà sempre tenuta ad averlo in cantiere, e ad utilizzarlo fino al raggiungimento di fatto dei suoi limiti operativi.

- I campionatori a pistone ad infissione meccanica permettono il campionamento in terreni la cui elevata consistenza può arrestare la penetrazione dei campionatori a pistone idraulico. Sostituiscono validamente il classico campionatore aperto tipo Shelby, avendo la stessa capacità penetrativa (utilizzano la spinta meccanica della sonda applicata alla batteria di aste) con i vantaggi del pistone.
- Il campionatore rotativo tipo CRAPS, con scarpa sporgente e fustella a pareti sottili, permette di campionare i terreni la cui consistenza arresta l'infissione a pressione della fustella. Viene spinto e ruotato meccanicamente tramite la batteria di aste, con circolazione di fluido.
- Campionatori quali i tradizionali Shelby, Denison o Mazier, NK3, potranno essere utilizzati in seguito alla preventiva autorizzazione da parte della Società, purchè le loro caratteristiche (diametro, lunghezza utile, ecc.) rientrino nei parametri di progetto.

L'utilizzo di altri campionatori non riportati nella presente specifica, identificati con nomi commerciali assegnati dalle stesse ditte operanti, potranno altresì essere utilizzati dietro specifica autorizzazione della Società, purchè siano stati preventivamente esaminati ed approvati e sia stata fornita una scheda riportante in dettaglio le loro caratteristiche tecniche ed operative.

In tutti i casi l'esito e la qualità del campionamento sarà sotto la completa responsabilità dell'Impresa.

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

Nei campionatori rotativi la sporgenza della fustella dal carotiere esterno dovrà essere regolata a priori tra 0.5 e 3 cm e dovrà rimanere costante durante ciascun prelievo.

L'infissione del campionatore dovrà sempre avvenire in un'unica tratta. Qualora si utilizzi un campionatore semplice a tubo aperto tipo Shelby sarà d'obbligo l'adozione della valvola di non ritorno a sfera in testa al campionatore, per impedire il rifluimento dall'alto di fluido di circolazione durante la penetrazione.

Il prelievo di campioni indisturbati dovrà seguire la manovra di rivestimento a quota, avendo cura di fermare l'estremità inferiore del rivestimento metallico provvisorio $0.2 \div 0.5$ m più in alto della quota di inizio prelievo ed effettuando la successiva pulizia di fondo 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 Osterberg, ove sono necessarie pressioni maggiori.

Laddove siano previsti prelievi di campioni indisturbati, dovrà sempre essere presente in cantiere:

- paletta a croce di diametro e lunghezza adeguata, o altro strumento simile idoneo alla loro pulizia;
- paraffina in pani, con fornello per la fusione;

I campioni indisturbati prelevati dovranno essere puliti alle estremità (in specie quella superiore) prima di procedere alla sigillatura. L'operazione di pulizia si renderà assolutamente necessaria laddove la superficie del campione si presenti molto bagnata e rammollita, e consisterà nell'asportazione di tutta la porzione di terreno rimaneggiato.

Qualora la lunghezza residua del campione, una volta terminata la pulizia, sia inferiore a 40 cm, il campione non sarà ritenuto valido; andrà scartato ed occorrerà effettuare un nuovo prelievo, fatto salva diversa autorizzazione.

La sigillatura del campione dovrà avvenire per colatura di paraffina liquida. Una volta completata la paraffinatura, la porzione di fustella vuota compresa tra il bordo della fustella e la superficie paraffinata sarà riempita di terreno granulare debolmente umido. La fustella sarà protetta alle estremità con tappi a tenuta, vincolati mediante nastro adesivo.

2.3.3.2 Spezzoni di carota, di terreni sciolti o lapidei

In presenza di terreni sciolti, terreni cementati e rocce, potranno prelevarsi dal carotaggio spezzoni di carota di lunghezza ≥ 15 cm, purché rappresentativi del tipo litologico perforato.

Nel caso di terreni sciolti o debolmente cementati i campioni saranno avvolti in pellicola trasparente o sacchetti di polietilene; qualora richiesto saranno paraffinati. Successivamente i campioni saranno inseriti in un involucro rigido di protezione a misura, all'occorrenza tagliato longitudinalmente per una migliore adesione alla superficie del campione e sigillato accuratamente con nastro adesivo, o paraffinato se richiesto.

Procedure analoghe potranno rendersi necessarie anche per carote di rocce ben cementate o dure. Precauzioni particolari dovranno prendersi qualora si prelevino spezzoni di carota contenenti superfici di giunto, da testare in laboratorio.

2.3.3.3 Campioni rimaneggiati

I campioni rimaneggiati verranno prelevati dal materiale recuperato con il carotaggio e, secondo richiesta (in relazione alla finalità del prelievo), inseriti e sigillati in uno dei seguenti contenitori:

- sacchetti di polietilene,
- barattoli di plastica (volume min. 1 litro),
- barattoli di vetro con guarnizione di tenuta (volume min. 1 litro).

Nella scelta del campione si avrà cura di eliminare le parti di terreno alterate dall'azione del carotiere (corteccia, parti "bruciate", tratti dilavati, ecc.).

La quantità minima di campione da prelevare e inviare in laboratorio non sarà mai inferiore a 1 kg.

La quantità varierà in funzione del tipo di terreno e del tipo di prove di laboratorio da condurre: a solo titolo esemplificativo la tabella seguente illustra le quantità necessarie per la realizzazione di alcune prove di laboratorio su campioni disturbati.

Massa di terreno richiesta per prove su campioni disturbati (da AGI 1977, UNI-EN 1997-2, modif.)

<i>Tipo di prova di laboratorio</i>		<i>Massa iniziale richiesta (g)</i>
<i>Densità particelle</i>		100
<i>Vagliatura</i>		
diametro massimo particelle (mm)	2	200
	10	1000
	15	2000
	40	10000
	60	15000
	70	25000
	100	35000
Sedimentazione (con idrometro)		250
Limiti di Atterberg		500
Indice di densità		8000
Compattazione con stampo Proctor		25000
CBR		6000
Permeabilità		
diametro cella (mm)	100	4000
	75	3000
	50	500
	25	250

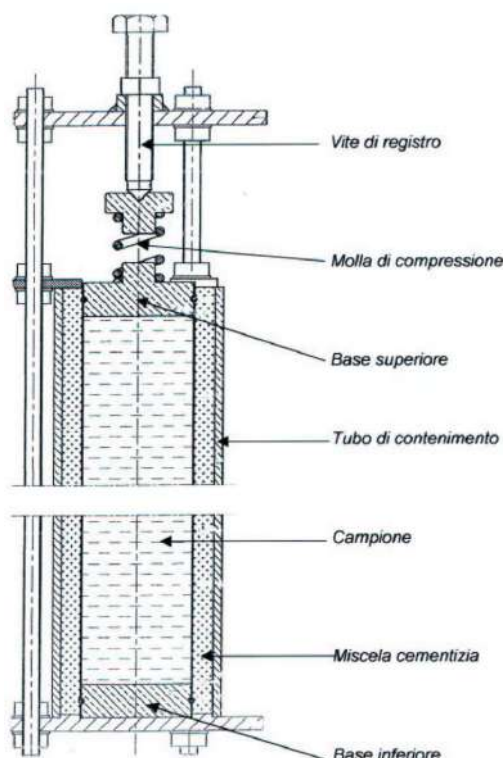
2.3.3.4 Campioni tipo "Panet"

Dietro specifica richiesta e in particolari condizioni potrà essere richiesto l'utilizzo della cella porta campioni tipo "Panet", che consente la conservazione del campione ripristinando uno stato tensionale prossimo a quello precedente il prelievo.

La cellula è formata da un telaio in acciaio, costituito da due piastre parallele (inferiore e superiore) di forma triangolare, di lato 20 cm, sostenute da tre barre filettate ad esse solidali e regolabili, per un'altezza complessiva pari a 50 cm. Al centro della struttura è previsto l'alloggio del campione, vincolato alle estremità superiore e inferiore da due basi di pari diametro (usualmente 100 mm). La base inferiore è solidale alla piastra inferiore; la base superiore è vincolata alla piastra superiore attraverso una vite di registro regolabile in altezza. Una molla di compressione permette di stringere la testa del campione regolando opportunamente la torsione.

Il campione è costituito da uno spezzone di carota con teste parallele e lunghezza variabile fino a circa 300 mm. La cellula può ospitare carote di diametro variabile da 80 a 100 mm. Una volta inserito nella cella il campione, preventivamente avvolto da un foglio di politelene, sarà contenuto lateralmente attraverso un tubo cilindrico rigido. L'intercapedine tubo/campione sarà riempita di malta cementizia, al fine di prevenire il rilascio volumetrico laterale. La malta dovrà avere caratteristiche idonee al riempimento delle guaine contenenti i cavi di precompressione in sezioni fino a 10 cm di diametro, secondo quanto riportato nella legge. Legge 5 novembre 1971, n. 1086,- Decreto ministeriale 9 gennaio 1996.

La figure seguenti illustrano la sezione tipo e le foto interna/esterna del contenitore tipo Panet.



In caso di utilizzo della cella tipo "Panet", la Società trasmetterà preventivamente all'impresa un modello fisico di riferimento, con tutte le indicazioni tecniche necessarie per la realizzazione e l'utilizzo del campionatore e per le modalità di confezionamento del campione.

2.3.4 IMBALLAGGIO E TRASPORTO DEI CAMPIONI

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

Le cassette andranno collocate in un locale idoneo, al riparo dal sole o dalle intemperie fino al momento della spedizione.

Le cassette dovranno contenere un massimo di 6 fustelle, onde facilitarne il trasporto. 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.

I campioni dovranno essere consegnati al laboratorio geotecnico indicato dalla Società, mediante distinta di accompagnamento trasmessa per conoscenza a Tecne, compilata in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.4.1

La consegna dovrà avvenire con cadenza settimanale; tempi di consegna differenti dovranno essere preventivamente concordati e autorizzati.

2.4 PROVE GEOTECNICHE IN FORO

2.4.1 STANDARD PENETRATION TEST (SPT)

2.4.1.1 Descrizione della prova

La prova consiste nell'infissione a percussione, secondo una procedura standardizzata, di un campionatore nel fondo di un foro di sondaggio e nella contemporanea registrazione dei colpi necessari per una penetrazione di 30 cm (N_{SPT}).

Per l'esecuzione della prova sarà utilizzato il campionatore aperto a pareti grosse tipo Raymond, di dimensioni standard. L'utilizzo di altri tipi di strumenti, quali la punta conica chiusa, saranno ammessi in particolari condizioni solo dietro esplicita autorizzazione della Società.

La prova SPT, per la quale è disponibile una vastissima letteratura di correlazioni empiriche, consente di determinare per via indiretta i parametri di resistenza al taglio, di deformabilità e di resistenza alla liquefazione di un terreno non coesivo.

Ad ogni prova SPT sarà sempre associato il prelievo di un campione, prelevato da campionatore spt e/o da cassetta, secondo quanto descritto di seguito.

2.4.1.2 Normative e specifiche di riferimento

- A.G.I. (1977) - Raccomandazioni sulla Programmazione ed Esecuzione delle Indagini Geotecniche
- ISSMFE Technical Committee (1988) - Standard Penetration Test (SPT): International Reference Test Procedure
- UNI EN 1997-2 (2007) - Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica. Parte 2. Indagini e prove nel sottosuolo [EN 1997-2 - Eurocode 7 - Geotechnical Design - Part 2: Ground investigation and Testing]
- EN ISO 22476-3:2005 - Geotechnical Investigation and testing - Field Testing. Part 3: Standard Penetration Test

L'Impresa dovrà in ogni caso attenersi a quanto di seguito specificato.

2.4.1.3 Caratteristiche delle attrezzature

2.4.1.3.1 Campionatore

Il tubo campionatore (campionatore Raymond), in acciaio indurito, dovrà avere superfici (interna ed esterna) lisce e dovrà essere apribile longitudinalmente. Il diametro esterno dovrà essere di 51 ± 1 mm, quello interno di 35 ± 1 mm, salvo quando sia prevista la presenza di un porta-campione; la lunghezza minima (esclusa la scarpa tagliente terminale) di 457 mm.

La scarpa terminale, rastremata a tagliente negli ultimi 19 mm per favorire la penetrazione, dovrà avere una lunghezza di 76 ± 1 mm e diametri (interno ed esterno) identici a quelli sopra indicati. Costituita anch'essa di acciaio indurito, come il campionatore, dovrà essere riparata o sostituita quando sbeccata o distorta.

Qualora richiesto dalla società potrà utilizzarsi un campionatore con diametro interno maggiore fino a 3 mm in corrispondenza della scarpa, per consentire l'inserimento di un cilindro portacampione.

MSQX-MSD-Rev0

La sola edizione controllata del documento è quella diffusa attraverso la rete informatica.

Tutte le copie disponibili su carta o su qualsiasi altro supporto, escluso l'originale, non sono soggette a controllo e il loro stato di aggiornamento deve essere verificato prima dell'uso.

Il campionatore inoltre dovrà essere dotato nella parte superiore di una valvola di non ritorno, con gioco sufficiente per permettere la fuoriuscita di aria, acqua o fango durante l'infissione. La valvola dovrà essere a tenuta d'acqua nella fase di estrazione del campionatore.

La punta chiusa conica (qualora autorizzata), sarà costituita da acciaio indurito; avrà una lunghezza di 76 ± 1 mm, diametro alla base del cono pari a 50.8 mm e un angolo alla punta pari a 60°

2.4.1.3.2 Aste

Salvo diversa autorizzazione della Società le aste dovranno essere a sezione costante, con diametro pari a 50 mm. La rigidità dovrà essere tale da evitare la flessione o piegamento durante l'infissione.

Non sono ammesse aste con peso superiore a 10 kg per metro lineare.

Le aste dovranno essere dritte, ben avvitate in corrispondenza dei giunti e con flessione totale della batteria pronta per la prova $< 1\%$.

2.4.1.3.3 Dispositivo di battitura

Il dispositivo di battitura, che dovrà avere un peso totale non superiore a 115 kg, dovrà comprendere:

- la testa di battuta in acciaio, che dovrà essere strettamente avvitata all'estremità della batteria di aste;
- il maglio (o massa battente) di acciaio, del peso di 63.5 ± 0.5 kg;
- il dispositivo di guida e rilascio del maglio, a sganciamento automatico, che deve consentire al maglio una caduta libera di 760 ± 10 mm, guidata ma con attriti trascurabili.

Non è ammesso l'uso del cabestano manovrato con la fune.

In alcune situazioni particolari (per es. per l'esecuzione di prove offshore) potrà richiedersi l'uso di un dispositivo di battitura a tenuta d'acqua che opera a fondo foro. In tal caso la società trasmetterà preventivamente all'impresa tutte le prescrizioni necessarie.

2.4.1.4 Preparazione del foro

La prova si esegue in fori di diametro non superiore a 150 mm.

Il foro deve essere pulito e sostanzialmente indisturbato alla quota di prova, senza un apprezzabile gradiente idraulico verso l'alto. Nel caso che la prova venga eseguita al di sotto del livello della superficie piezometrica o in condizioni di subartesianesimo, il livello del fluido nel foro deve essere sempre mantenuto al di sopra del livello idrostatico.

Gli utensili di perforazione devono essere estratti lentamente per prevenire la decompressione del terreno interessato dalla prova.

Il rivestimento metallico provvisorio, se utilizzato, non deve essere infisso al di sotto della profondità di prova.

La quota del fondo foro deve essere controllata con apposito scandaglio confrontandola con quella raggiunta con la manovra di perforazione o di pulizia precedentemente fatta; può risultare dal controllo che la quota misurata sia più alta del fondo del foro, per effetto dei rifluimenti o per decantazione di detriti in sospensione nel fluido; se tale differenza supera 7 cm la prova non può essere eseguita e si deve procedere ad una nuova pulizia del foro.

2.4.1.5 Modalità esecutive

La prova si esegue infiggendo a fondo foro il campionatore per due tratti consecutivi, il primo da 150 mm e il secondo da 300 mm, annotando il numero di colpi necessario per la penetrazione.

La successione delle operazioni è la seguente:

- procedere alla infissione preliminare di 150 mm contando ed annotando il numero di colpi del maglio, fino ad un massimo di 50 colpi;
- procedere alla infissione del tratto di 300 mm contando ed annotando separatamente il numero di colpi relativi ai primi 150 mm ed ai secondi 150 mm fino ad un massimo di 100 colpi complessivi; il rifiuto si considera raggiunto quando, dopo l'infissione preliminare, che è pari a 150 mm o 50 colpi, si ottengono 100 colpi per un avanzamento minore od uguale a 300 mm; nel caso di rifiuto, si dovrà annotare la lunghezza di infissione corrispondente ai 100 colpi (in cm); la frequenza di battitura in tutte le fasi della prova non deve essere superiore a 30 colpi al minuto;
- qualora il campionatore avanzi staticamente sotto il fondo foro per il proprio peso (aste+massa battente), tale penetrazione non dovrà essere considerata come penetrazione iniziale. In ogni caso la prova non potrà eseguirsi qualora il terreno penetri nel campionatore fino a raggiungere la valvola di non ritorno. Tali informazioni dovranno essere annotate nel report di prova;
- ad estrazione avvenuta, aprire il campionatore, misurare e descrivere il campione prelevato, trascurando l'eventuale parte alta costituita da detriti, e quindi sigillarlo in un contenitore a tenuta d'aria (sacchetto o contenitore in plastica) che deve consentire l'esame del campione senza mescolamenti fra le varie parti. Qualora il campionatore risultasse vuoto, l'assenza del campione da spt andrà opportunamente segnalata nel modulo di prova.
- Nella successiva manovra di carotaggio il materiale carotato alla quota di esecuzione dell'spt andrà sempre riposto nella cassa porta carote alla quota corrispondente; con l'aggiunta di un'etichetta che indichi l'esecuzione della prova, con tanto di numerazione progressiva e profondità di prova.

2.4.1.5.1 *Campionamento*

Ciascun campione da SPT-Raymond, anche se molto scarso in contenuto, andrà conservato e sigillato in doppio sacchetto di polietilene a cui andrà fissata un'etichetta contenente le seguenti informazioni:

- nome identificativo della società
- cantiere;
- n° del sondaggio;
- n° del campione;
- profondità della prova;
- lunghezza del campione;
- data della prova;
- n° di colpi per ogni singolo tratto di 15 cm.

Qualora la prova SPT sia stata eseguita con punta chiusa, o qualora il campionatore Raymond risultasse vuoto o semivuoto, un ulteriore campione rimaneggiato andrà prelevato dalla cassa porta-carote durante la successiva manovra di carotaggio, alle quote corrispondenti l'esecuzione della prova stessa; tale eventuale campione non dovrà mai essere mescolato con il campione STP-Raymond; andrà sigillato separatamente in doppio sacchetto ed etichettato.

Tutti i campioni saranno inviati in laboratorio e riportati nel modulo stratigrafico; sarà adottata una numerazione progressiva specifica e univoca per i campioni da SPT - Raymond, mentre per gli eventuali campioni rimaneggiati prelevati in cassa sarà adottata la stessa numerazione progressiva in uso per tutti i campioni rimaneggiati prelevati nel corso del sondaggio..

Tutte le prove SPT andranno riportate e identificate nel modulo stratigrafico di sondaggio, con una numerazione progressiva e una simbologia specifica che indichi anche il tipo di strumento (p.a. o p.c.), i numeri di colpi di ogni tratto di 15 cm e, in caso di rifiuto, l'avanzamento misurato nell'ultimo tratto.

2.4.1.6 Documentazione

La documentazione dovrà comprendere, per ciascuna prova eseguita ad una determinata profondità, le seguenti informazioni:

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2.
- n° del sondaggio;
- metodo e diametro di perforazione;
- tipo di maglio e dispositivo di sgancio;
- tipo di strumento (punta Raymond o punta chiusa)
- diametro e peso per metro lineare delle aste;
- diametro del rivestimento, se impiegato;
- profondità della base del rivestimento, se impiegato;
- profondità della falda e del fluido di perforazione nel foro;
- profondità raggiunta con la manovra di perforazione e pulizia;
- profondità di inizio della prova;
- penetrazione iniziale per peso proprio delle aste del campionatore;
- numero dei colpi necessari per l'infissione del tratto preliminare e dei tratti di prova;
- lunghezza e descrizione geotecnica del campione estratto;
- osservazioni e note eventuali.

2.4.2 PROVA SCISSOMETRICA (VANE TEST)

2.4.2.1 Descrizione della prova

La prova consiste nell'infiggere nel terreno naturale al fondo di un foro di sondaggio una paletta a quattro lame metalliche ortogonali (sezione a croce greca), collegata alla superficie mediante una batteria di aste metalliche, ed imprimere una rotazione misurando lo sforzo torsionale necessario per portare il terreno alla rottura.

La prova scissometrica consente di misurare la resistenza al taglio non drenata di terreni coesivi saturi di consistenza da tenera a media.

2.4.2.2 Normative e specifiche di riferimento

- A.G.I. (1977) - Raccomandazioni sulla Programmazione ed Esecuzione delle Indagini Geotecniche
- UNI EN 1997-2 (2007) - Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica. Parte 2. Indagini e prove nel sottosuolo [EN 1997-2 - Eurocode 7 - Geotechnical Design - Part 2: Ground investigation and Testing]
- EN ISO 22476-9:2020 - Geotechnical Investigation and testing - Field Testing - Part 9. Field Vane Test

L'Impresa dovrà comunque attenersi a quanto di seguito specificato.

2.4.2.3 Caratteristiche delle attrezzature

2.4.2.3.1 *Paletta*

Sarà costituita da 4 rettangoli di lamiera d'acciaio sottile uniti lungo uno dei lati maggiori, con sezione trasversale a croce greca.

Le palette devono avere diametro compreso tra 40~~5~~ e 100 mm.

L'altezza della paletta dovrà essere pari a 2 volte il diametro, fino al massimo consentito di 200 mm.

La scelta del diametro di paletta da impiegare dovrà essere fatta in funzione della forza di torsione massima che dovrà essere applicata, in base alla prevedibile resistenza del terreno da provare (più il terreno è consistente, più piccolo dovrà essere il diametro della paletta e viceversa).

Per non disturbare il terreno in cui penetra, la paletta dovrà avere dimensioni tali che il rapporto fra l'area della sezione trasversale delle quattro palette e l'area della sezione trasversale del cilindro ottenuto dalla rotazione delle stesse non superi il 10%.

Lo spessore delle lame deve essere compreso tra 0.8 mm e 3.0 mm; per argille sensitive lo spessore delle lame non deve eccedere 2.0 mm.

Il diametro dell'asta di prolunga dovrà essere il minore possibile per limitare effetti di disturbo.

2.4.2.3.2 *Aste di collegamento*

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

Le aste dovranno essere dritte, con eccentricità delle filettature in corrispondenza dei giunti

inferiore a 0.1 mm. La curvatura massima consentita per due aste collegate è di 2 mm per 1 m di lunghezza, misurato come lunghezza d'arco. Dovranno presentare elevate caratteristiche di rigidità a torsione e flessione, affinché gli sforzi applicati all'estremità superiore vengano trasmessi integralmente a quella inferiore, cioè alla paletta.

2.4.2.3.3 *Rivestimento*

E' consentito l'utilizzo di tubi di rivestimento. La batteria di tubi dovrà avere elevata rigidità a flessione ed a torsione, e dovrà assolvere alle seguenti funzioni:

- irrigidimento della batteria di aste;
- reazione allo sforzo di torsione applicato in superficie;
- trasmissione della spinta verticale necessaria per infiggere tutto il dispositivo alla profondità voluta.

Le aste di collegamento fra le palette e la superficie devono poter ruotare all'interno del rivestimento senza apprezzabili attriti. Appositi distanziatori su cuscinetti a sfere devono pertanto essere inseriti a distanze non superiori a 3 m. In ogni caso, l'attrito lungo la batteria dovrà essere misurato prima dell'esecuzione della prova.

2.4.2.3.4 *Strumento di torsione*

Lo strumento di torsione viene applicato all'estremità superiore della batteria di aste che collegano la paletta 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 a rottura.

Lo strumento di torsione deve possedere i seguenti requisiti:

- indicatore del massimo sforzo raggiunto durante la prova;
- impermeabilità all'acqua;
- sensibilità < 1% dello sforzo massimo applicabile;
- indifferenza alle variazioni della temperatura ambiente.

2.4.2.4 Modalità esecutive

Le prove potranno essere eseguite “senza estrazione” oppure “con estrazione” dello strumento dopo ogni prova, in accordo con il progetto delle indagini.

La successione delle operazioni è la seguente:

- 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;
- si bloccherà la batteria esterna (rivestimento) sulla quale si svilupperà la reazione durante la prova;
- si infiggerà la paletta nel terreno per una profondità di almeno 5 volte il diametro dello strumento (con un minimo di 0.5 m dalla superficie del suolo), senza applicare tensioni torsionali, con velocità di spinta costante e non eccedente 20 mm/s;

- si ruoterà la paletta dalla superficie, impiegando preferibilmente un dispositivo con riduttore, ad una velocità di 0.1°/s (6°/min) misurando il momento torcente necessario per portare a rottura il terreno (resistenza al taglio massima);
- dopo la rottura, si ruoterà per almeno 10 giri completi la paletta, e si misurerà il nuovo valore del momento torcente applicato (resistenza al taglio dopo rimaneggiamento);
- a prova ultimata si farà rientrare la paletta nella scarpa di protezione applicando alla batteria di aste interne un leggero tiro in estrazione;
- nel caso di prova “con estrazione” si estrarrà lo strumento di prova per riprendere la perforazione;
- nel caso di prova “senza estrazione” si spingeranno entrambe le batterie fino a 50 cm al di sopra della quota della successiva prova; in ogni caso ogni 4 m di infissione o quando i risultati facciano sorgere dubbi riguardo l'efficienza della paletta, si provvederà all'estrazione e al controllo dello strumento.

Nel caso di prove eseguite su verticali differenti, la distanza minima tra punti di indagine attigui deve essere di almeno 2 m in piano, qualora la profondità di prova sia maggiore di 5 m.

2.4.2.5 Calcoli

La resistenza al taglio non drenata c_u potrà essere calcolata con la seguente espressione:

$$c_u = 6 T / 7 \pi d^3$$

dove:

T = momento torcente applicato
d = diametro della paletta

2.4.2.6 Documentazione

La documentazione di ogni prova dovrà comprendere:

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2.
- n° del sondaggio;
- schema geometrico del foro di sondaggio, diametro di perforazione e di rivestimento, profondità del rivestimento, metodo e attrezzatura impiegata per la pulizia di fondo foro;
- stratigrafia del sondaggio (se eseguito a carotaggio continuo);
- profondità della prova;
- dimensioni della paletta utilizzata e diametro delle aste di collegamento;
- tabulati (su supporto cartaceo e informatico) con tutte le misure eseguite e le grandezze calcolate, tra cui le letture allo strumento di torsione);
- e/o grafici sforzo-deformazione (nel caso di registrazione con centralina elettronica);
- valori della resistenza al taglio massima e dopo rimaneggiamento;
- certificato di taratura del dispositivo di torsione, non anteriore di 6 mesi alla data di esecuzione della prova;
- osservazioni e note eventuali.

2.4.3 PROVA PRESSIOMETRICA TIPO MENARD (MPM)

2.4.3.1 Descrizione della prova

La prova pressiométrica tipo Menard consiste nell'introdurre in un foro di sondaggio una sonda cilindrica e nel farla espandere radialmente contro le pareti del foro, misurando la conseguente deformazione volumetrica del terreno.

La prova viene eseguita in controllo di carico misurando la deformazione volumetrica corrispondente ad ogni incremento di carico.

Perché i risultati della prova siano attendibili, è indispensabile che il disturbo del terreno circostante il foro del sondaggio sia ridotto al minimo.

La prova pressiométrica tipo Menard potrà essere eseguita sia in terreni (pressioni massime raggiungibili ≥ 5 MPa) sia in rocce tenere (pressioni massime raggiungibili ≥ 10 MPa).

2.4.3.2 Normative e specifiche di riferimento

- ASTM D 4719 - Standard Test Method for Pressuremeter Testing in Soils
- UNI EN 1997-2 (2007) - Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica. Parte 2. Indagini e prove nel sottosuolo [EN 1997-2 - Eurocode 7 - Geotechnical Design - Part 2: Ground investigation and Testing]
- ISO 22476-4:2012 - Geotechnical Investigation and Testing - Field Testing - Part 4: Menard pressuremeter test.

In ogni caso l'Impresa dovrà attenersi a quanto specificato nei paragrafi seguenti, con riferimento alla prova pressiométrica MPM (Menard Pressure Meter) - pressiometro Menard.

L'esecuzione di prove pressiométriche con attrezzature di altro genere, quali la sonda SBP (Self Boring Pressumenter) - pressiometro autoperforante, o DBP (Full Displacement Pressumenter) - pressiometro autopenetrante a spostamento totale, potrà essere espressamente richiesta dalla Società. In tal caso si farà riferimento alle specifiche tecniche riportate di seguito:

- ISO 22476-5:2012 - Geotechnical Investigation and Testing - Field Testing - Flexible dilatometer test
- ISO 22476-6:2018 - Geotechnical Investigation and Testing - Field Testing - Self-boring pressuremeter test.

La società trasmetterà preventivamente all'impresa tutte le indicazioni tecniche necessarie alla realizzazione delle prove suddette.

2.4.3.3 Caratteristiche delle attrezzature

2.4.3.3.1 *Sonda pressiométrica tipo Menard*

E' una sonda cilindrica ad espansione idraulica, costituita da una cella di misura centrale e da due celle di guardia laterali; la cella di misura centrale è piena di acqua e, messa in pressione da una sorgente di aria compressa attraverso un riduttore e un serbatoio separatore aria-acqua, viene fatta espandere radialmente misurandone la variazione di volume; le celle di guardia devono impedire, durante la prova, deformazioni della cella di misura che non siano quelle radiali.

La sonda potrà avere un diametro compreso tra 44 mm e 70 mm. I diametri standard di riferimento sono pari a 70 mm, 58-60 mm, 44 mm. La lunghezza complessiva della sonda (somma della cella di misura e delle celle di guardia) dovrà essere pari ad almeno 6 volte il diametro.

Le pareti della cella di misura consisteranno di una membrana interna di gomma e di un involucro deformabile esterno in grado di adattarsi alla forma progressivamente assunta dalle pareti del foro nel corso della prova.

La membrana potrà essere protetta da un involucro esterno in gomma o a lamelle metalliche parzialmente sovrapposte ("tubo lanternato"), qualora reso necessario dalla natura del terreno (terreni granulari contenenti ghiaie o ciottoli e rocce tenere). Il diametro della membrana flessibile in gomma dovrà essere in grado di espandersi del 50% senza scoppio.

2.4.3.3.2 Apparato di espansione

L'apparato di espansione delle celle deve permettere di variare il volume e la pressione all'interno delle stesse in forma del tutto regolabile e controllabile mediante la centralina di misura.

2.4.3.3.3 Tubi di connessione

I tubi di connessione delle celle con gli apparati di espansione e misura saranno di tipo plastico rigido. I tubicini della cella di misura saranno preferibilmente inseriti coassialmente nella tubazione che porta il gas alle celle di guardia, in modo da annullare le variazioni di volume nelle tubazioni relative alla cella di misura.

2.4.3.3.4 Centralina di misura

La centralina di misura deve includere un meccanismo per l'applicazione di incrementi controllati di pressione alla cella di misura ed un regolatore della pressione del gas nelle celle di guardia. Le pressioni dei fluidi saranno tutte leggibili a mezzo di manometri adeguatamente tarati. La sensibilità dei manometri deve essere tale da consentire la precisione di lettura specificata nelle modalità esecutive.

Le variazioni di volume verranno lette in corrispondenza di tubicini graduati con risoluzione minima di 0.01 cm³, necessaria quando tali variazioni diventino inferiori a 0.5 cm³ per incrementi di pressione di 1 bar.

2.4.3.4 Calibrazioni e controlli

Prima di iniziare ogni prova, si procederà alla calibrazione del sistema determinando le perdite di pressione e le perdite di volume.

2.4.3.4.1 Perdite di pressione (taratura di pressione)

Le perdite di pressione sono legate alla inerzia della membrana e delle eventuali strisce metalliche di rinforzo ("tubo lanternato"). La calibrazione dovrà essere eseguita in superficie facendo espandere la sonda senza confinamento (in aria) e misurando le pressioni necessarie alle diverse deformazioni volumetriche.

La calibrazione deve essere svolta con cautela per non provocare lo scoppio della sonda.

L'espansione dovrà avvenire con incrementi di pressione da 10 KPa, da mantenersi per 60 secondi, con letture di volume al termine di tale tempo.

Le pressioni registrate durante la prova verranno corrette detraendo il valore di pressione necessario a deformare la sonda in aria al volume corrispondente, come indicato al paragrafo 2.4.3.7

2.4.3.4.2 Perdite di volume (taratura di volume)

Le perdite di volume dovute alla elasticità dei tubi di collegamento e del serbatoio aria-acqua saranno determinate in superficie introducendo la sonda pressiometrica in un tubo di acciaio rigido e di grosso spessore, utilizzando per i collegamenti una lunghezza di tubi analoga a quella che verrà adottata nelle successive prove in sito; la membrana della sonda verrà dilatata contro il tubo metallico indeformabile, aumentando la pressione per gradi fino ai valori presumibili delle successive misure in sito.

Particolare attenzione dovrà essere posta alla calibrazione del volume nel caso di prove in rocce tenere, dato che le variazioni di volume durante la prova sono molto piccole e dello stesso ordine di grandezza di quelle dovute all'elasticità del sistema.

Tale calibrazione permette di calcolare il volume iniziale della sonda V_0 alla pressione atmosferica [cm^3], da impiegare nel calcolo del modulo pressiometrico (v. 2.4.3.7), pari a:

$$V_0 = 0.25 p I_s d_i^2 - V_i$$

dove:

I_s = lunghezza della cella centrale di misura [cm]

d_i = diametro interno del tubo di calibrazione [cm]

V_i = volume iniettato per portare la sonda a contatto con le pareti del tubo di calibrazione, individuato sul diagramma di calibrazione prolungando il tratto rettilineo sull'asse dei volumi [cm^3]

Dal diagramma pressione/volume si ricaverà inoltre l'entità della correzione di volume V_c da applicare alle letture di volume come indicato al paragrafo 2.4.3.7. [Nota: Per le usuali celle MPM da 60 mm di diametro il volume di riferimento V_0 è normalmente pari a 535 cm^3].

2.4.3.5 Preparazione del foro

La perforazione del foro nel quale eseguire la prova dovrà essere eseguita con tutti i possibili accorgimenti necessari per evitare disturbi delle pareti e del terreno circostante.

Il tratto di foro da sottoporre a prova dovrà risultare uniforme, liscio, privo di gradini e scavarnamenti. Dovrà essere pertanto ricavato con utensile molto tagliente, senza riprese, in assenza o con un minimo di fluido di circolazione.

La perforazione del foro, nel caso di terreni, dovrà precedere direttamente la prova, che dovrà essere eseguita appena terminata la manovra di perforazione. Nel caso di rocce tenere, l'intervallo di tempo tra perforazione ed esecuzione della prova dovrà essere comunque il più ridotto possibile e preferibilmente contenuto in non più di poche ore.

Il diametro del foro deve essere calibrato correttamente, con il minimo eccesso possibile rispetto alla sonda, per consentire la massima dilatazione della cavità a parità di volume del fluido iniettato; ciò è utile sia per la sicurezza operativa che per la valutazione della pressione limite; il diametro di perforazione sarà quindi definito sulla base del diametro della sonda da utilizzare per la prova, e nel rispetto della seguente espressione (v. norma ASTM D 4719):

$$1.03 D_{PM} < D_H < 1.20 D_{PM}$$

dove: D_{PM} = diametro della sonda pressiometrica
 D_H = diametro del foro

Un contenimento del diametro del foro entro la misura di $1.10 D_{PM}$ è preferibile.

Le pareti del foro devono essere rimaneggiate il meno possibile affinché la prova interessi un terreno ragionevolmente intatto.

Si dovrà evitare quindi di realizzare la prova in corrispondenza di tratti del foro ove siano state prelevate preventivamente campionature per esami di laboratorio.

Si dovranno evitare inoltre le seguenti possibili cause di disturbo del terreno:

- compressione del terreno ad opera dell'utensile di perforazione o durante l'introduzione della sonda;
- perturbazione meccanica dovuta alla rotazione, alla percussione, alle vibrazioni od ai movimenti verticali dell'utensile;
- rammollimento od erosione ad opera dell'eventuale fluido di perforazione;
- decomposizione per rifluimento o rigonfiamento del terreno.

Il metodo di perforazione deve essere adattato alla natura del terreno in base all'esperienza e alla disponibilità di mezzi alternativi, per la messa a punto del migliore nei casi più difficili o nei casi di scarse informazioni geognostiche preliminari.

Quando il terreno ha una coesione sufficiente a garantire la stabilità del foro, almeno a breve termine e con l'eventuale ausilio di fango bentonitico, i mezzi utilizzabili, a seconda della consistenza del terreno e della profondità da raggiungere, sono i seguenti:

- a) trivella a mano (sgorbia), a secco o con fango;
- b) campionatore a pareti sottili (con tagliente interno) infisso a pressione in presenza di fango;
- c) trivella elicoidale continua, azionata meccanicamente, in presenza di fango;
- d) carotiere a rotazione, con circolazione diretta di fango o senza circolazione di fluido ma in presenza di fango);
- e) utensile disagregatore a rotazione (trilama o tricono);

Per argille di bassa-media consistenza si dovrà ricorrere all'attrezzatura tipo a), utilizzando eventualmente l'iniezione di fango bentonitico, oppure all'attrezzatura tipo b).

Per argille di consistenza elevata fino a fortemente sovraconsolidate i metodi utilizzabili vanno dal tipo a) al tipo e), in funzione della crescente consistenza del terreno.

Per i limi il metodo consigliabile è il tipo a), ma possono essere utilizzati, in determinate condizioni di terreno e di falda, i metodi b) e d).

Per le sabbie da sciolte a mediamente addensate l'uso della trivella manuale (in presenza di fango per terreni in falda e a secco per terreni sopra falda) è il metodo più raccomandabile, a condizione che non vi siano ciottoli abbondanti o di grosse dimensioni e che il foro si mantenga stabile. In alternativa possono essere usati i metodi b), solo sopra falda e d), con carotaggio.

Per terreni contenenti ghiaie e ciottoli, si dovrà tentare con l'attrezzatura tipo d), con carotaggio a secco e con carotiere semplice a corona sottile; in caso di insuccesso sarà ammesso l'inserimento

della sonda nel “tubo lanternato”.

Per le rocce molto tenere, alterate o scistose si richiedono cautele nella preparazione del foro analoghe a quelle prescritte per i terreni coesivi compatti. I mezzi richiesti sono i carotieri rotativi, la trivella elicoidale e talvolta gli utensili a distruzione. La roto-percussione è ammessa solo per i materiali con modulo E_M superiore a 50 MPa.

In caso di rocce molto fratturate o molto eterogenee si può utilizzare il metodo della cementazione e riperforazione o in alternativa la protezione con tubo lanternato.

La tecnica da utilizzarsi per la preparazione del foro dovrà essere sempre comunicata alla Società.. L'eventuale adozione di metodologie di perforazione diverse da quelle sopra indicate dovrà essere preventivamente autorizzata dalla Società.

2.4.3.6 Modalità esecutive

Le prove devono essere eseguite esclusivamente in avanzamento e non deve esserci soluzione di continuità tra la fine della perforazione della tasca di prova e la discesa a quota della sonda pressiometrica.

Il livello piezometrico deve essere noto prima di iniziare la prova e pertanto dovrà essere misurato nel corso della perforazione approfittando delle soste notturne.

Prima di posizionare la sonda pressiometrica nel foro, si procederà alla accurata lettura del volume della cella di misura alla pressione atmosferica. Tutti i circuiti saranno disaerati e i manometri azzerati con sonda a piano campagna. Il circuito per il controllo dei volumi sarà quindi chiuso e la sonda calata nel foro in queste condizioni. La profondità della prova viene assunta essere quella corrispondente al punto medio della cella di misura.

La pressione che deve essere mantenuta nelle celle di guardia durante la prova non dovrà mai essere superiore a quella agente all'interno della cella di misura.

Una volta posizionata la sonda la pressione dovrà essere incrementata con intervalli di carico normalmente uguali tra loro. Si raccomandano almeno 10 incrementi di carico; i valori di ciascun incremento di carico dovranno essere stabiliti in accordo al progetto delle indagini o definiti nel corso della prova stessa, in accordo con la Società. E' consigliabile che gli incrementi di pressione siano costanti nella fase pseudo elastica, mentre possono essere differenti nelle fasi estreme. In argilla è consigliabile non eccedere 14 gradini di carico. N. 7 gradini di carico rappresentano il limite inferiore per l'accettabilità della prova.

La prova potrà essere conclusa quando l'espansione della cella nel corso di un incremento di carico diventa maggiore di circa 1/4 dell'originale volume V_0 della cella di misura oppure, come nel caso di prove in roccia, quando viene raggiunto il fondo scala della pressione applicabile.

Le letture relative alle variazioni di volume della sonda (e quindi del terreno) dovranno essere effettuate 30" e 60" dall'inizio della applicazione di ogni incremento di carico. All'occorrenza potranno essere richieste letture anche dopo i primi 15" dall'applicazione degli incrementi di carico.

Le misure dovranno essere registrate con una precisione pari allo 0.2% del volume della cella di misura (in condizioni di pressione atmosferica) e quelle di pressione con una precisione pari al 5% del valore della pressione limite.

La prova non potrà essere eseguita se la deformazione iniziale della membrana risulta superiore a 300 cm³; ove ciò si verificasse, dovrà essere perforata una nuova tasca di prova, immediatamente al di sotto della precedente, con modalità e utensili tali da evitare il ripetersi del fenomeno.

Salvo diversa e specifica disposizione di Tecne o contenuta nel progetto delle indagini, dovrà MSQX-MSD-Rev0

La sola edizione controllata del documento è quella diffusa attraverso la rete informatica.

Tutte le copie disponibili su carta o su qualsiasi altro supporto, escluso l'originale, non sono soggette a controllo e il loro stato di aggiornamento deve essere verificato prima dell'uso.

essere eseguito un ciclo di scarico-ricarico in corrispondenza della fase pseudo-elastica della prova. Il ciclo di scarico-ricarico dovrà iniziare al termine del tratto pseudo-elastico della prova (quando gli incrementi nelle deformazioni diventano più che proporzionali rispetto agli incrementi di pressione) e dovrà comprendere almeno 3 gradini di scarico e 3 gradini di ricarica; la pressione minima del ciclo di scarico/ricarico sarà pari generalmente al 25% della pressione raggiunta all'inizio del ciclo e comunque non superiore al 50%.

Una volta conclusa la prova, la sonda sarà depressurizzata e riportata in superficie.

2.4.3.7 Calcoli

La pressione effettivamente applicata alle pareti del foro dovrà essere determinata in accordo alla seguente espressione:

$$P = P_R + P_d - P_c$$

dove:

P = pressione applicata alle pareti del foro

P_R = pressione letta al manometro

P_d = correzione idrostatica, ottenuta moltiplicando il peso di volume del liquido di prova per la distanza tra il centro della sonda e l'unità di lettura in superficie

P_c = correzione di pressione determinata in accordo a quanto indicato al paragrafo 2.4.3.4.1

Il volume corretto, corrispondente alla pressione applicata alle pareti del foro, dovrà essere determinato in accordo alla seguente espressione:

$$V = V_R - V_c$$

dove:

V = volume corretto

V_R = volume letto all'unità di misura

V_c = correzione di volume determinata in accordo a quanto indicato al paragrafo 2.4.3.4.2

Il modulo pressiométrico dovrà essere calcolato in accordo alla seguente espressione:

$$E_p = 2 (1 + m) (V_o + V_m) DP/DV$$

dove:

E_p = modulo pressiométrico

m = rapporto di Poisson

V_o = volume della cella di misura alla pressione atmosferica, determinato in accordo a quanto indicato al paragrafo 2.4.3.4.2

V_m = volume corretto nella parte centrale dell'incremento DV ; $V = V_r - V_c$, per V_r = volume da lettura a manometro e V_c = correzione volumetrica alla pressione corrispondente in base alla curva di calibrazione (cfr. paragrafo 2.4.3.4.2)

$DP = P_2 - P_1$ = incremento di pressione (corretta, cfr. paragrafo 2.4.3.4.1) nella parte centrale della porzione rettilinea della curva pressione-volume

$DV = V_2 - V_1$ = incremento di volume nella parte centrale della porzione rettilinea della curva pressione-volume, corrispondente all'incremento di pressione DP

Dovranno essere sempre indicati gli intervalli di pressione (P_1 , P_2) e volume (V_1 , V_2) utilizzati per il calcolo del modulo pressiométrico.

2.4.3.8 Documentazione

La documentazione di ciascuna prova comprenderà:

- Informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2.
- informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, data, nominativo dell'operatore)
- n° del sondaggio;
- schema geometrico del foro di sondaggio, diametro di perforazione e di rivestimento, profondità del rivestimento;
- descrizione stratigrafica del terreno nell'intervallo di prova;
- livello piezometrico nel foro di sondaggio;
- metodo e attrezzature utilizzate per la preparazione del foro;
- profondità della prova da p.c. (punto medio della cella di misura);
- caratteristiche e dimensioni della attrezzatura (in particolare sonda pressiométrica e membrana);
- curva di calibrazione per le perdite di volume;
- curva di calibrazione per le perdite di pressione;
- tabulati (su supporto cartaceo e informatico) con tutte le misure eseguite e le grandezze calcolate, tra cui le letture volumetriche a (15") 30" e 60" dall'applicazione dell'incremento di pressione);
- curva di cantiere con i valori non corretti di pressione (kPa) e volume a 60" (cm³);
- curva pressiométrica (valori corretti);
- curva di creep;
- determinazione di v_0 (volume iniziale) e p_0 (pressione iniziale);
- determinazione di v_F (volume di scorrimento o fluage) e p_F (pressione di scorrimento o fluage);
- calcolo del modulo pressiométrico con indicazione degli intervalli di pressione e volume utilizzati (nel caso di prova con ciclo di scarico-ricarico dovrà essere calcolato anche il modulo nell'asola disegnata dal ciclo eseguito);
- calcolo della pressione limite p_L , con indicazione del metodo utilizzato e relativo grafico;
- note su qualsiasi variazione rispetto alle modalità di prova;
- descrizione del tempo atmosferico e della temperatura;
- copia dei certificati di taratura dei manometri, non anteriori di 6 mesi alla data di esecuzione della prova.

2.4.4 PROVE DI PERMEABILITÀ TIPO LEFRANC

2.4.4.1 Descrizione della prova

La prova consente di misurare la permeabilità (o conducibilità idraulica) del terreno in un foro di sondaggio; a seconda della geometria realizzata in corrispondenza del tratto di foro prescelto e quindi della direzione del flusso che si instaura durante la prova, la permeabilità misurata sarà quella orizzontale (K_h), quella verticale (K_v) o una media tra le due ($\bar{K}_h * K_v$).

La prova, che può essere eseguita per immissione o estrazione di acqua dal foro, può essere condotta a carico idraulico costante o variabile, a seconda della conducibilità idraulica del terreno: se elevata si potrà eseguire una prova a carico costante, se bassa una prova a carico variabile.

2.4.4.2 Normative e specifiche di riferimento

- A.G.I. (1977) - Raccomandazioni sulla Programmazione ed Esecuzione delle Indagini Geotecniche
- CIRIA (1986) - Control of Groundwater for Temporary Works. Report 113.

In ogni caso l'Impresa dovrà attenersi a quanto di seguito specificato.

2.4.4.3 Caratteristiche delle attrezzature

- Sonda freaticometrica;
- metro a nastro o asta graduata;
- ghiaia o ghiaino, da utilizzare quale dreno nel tratto di prova;
- contaltri di sensibilità pari a 0.1 l (la calibrazione del contaltri deve essere verificata in sito riempiendo un recipiente di volume noto e di capacità superiore a 100 l);
- pompa sommersa e generatore di alimentazione per la realizzazione di prove in risalita;
- pompa (a cilindri, rotativa, ecc.) per l'immissione di acqua nel foro: può essere costituita dalla pompa di servizio della sonda di perforazione, o qualunque altra pompa accessoria purché di portata ≥ 120 litri/minuto.

2.4.4.4 Modalità esecutive - operazioni preliminari

Dovranno essere tenuti presenti i seguenti aspetti fondamentali:

- la perforazione dovrà essere eseguita senza l'impiego di fanghi utilizzando come fluido di circolazione solo acqua pulita;
- è necessario evitare che all'esterno del rivestimento metallico utilizzato per sostenere la parete del foro si crei una via preferenziale di scorrimento dell'acqua immessa durante la prova;
- è altresì necessario evitare che, nel perforare il tratto da sottoporre a prova, si verifichino vistosi fenomeni di "bruciatura" sul fondo del foro e "spalmatura" di terreno coesivo sulla parete del foro, tali da alterare la composizione granulometrica e la compattezza del terreno interessato.

La preparazione del tratto di terreno per la misura del coefficiente di permeabilità andrà realizzata in relazione al tipo di schema prescelto:

nel caso di prova su fondo filtrante piano, si dovrà infiggere il rivestimento a secco (senza circolazione di fluido) negli ultimi 20-30 cm, in modo da bloccare all'acqua le vie preferenziali di flusso; si dovrà poi eseguire un lavaggio all'interno del rivestimento utilizzando un attrezzo a fondo piano e con fori radiali di fuoriuscita del fluido.

Nel caso di prova con filtro cilindrico, si dovrà infiggere un primo rivestimento esterno fino al tetto del tratto da provare: anche in questo caso tale rivestimento dovrà essere infisso a secco (senza circolazione di fluido) negli ultimi 20-50 cm, in modo da bloccare all'acqua le vie preferenziali di flusso; si dovrà poi inserire un secondo rivestimento, telescopico ed interno al primo, costituito ad esempio da un doppio carotiere dotato di imbocco rastremato, da tricono a distruzione, oppure (dietro autorizzazione della Società) da un carotiere semplice, facendoli penetrare a secco o con leggera circolazione d'acqua pulita. Tale strumentazione interna potrà essere utilizzata per la realizzazione di una tasca di prova a profondità maggiore della quota precedentemente raggiunta, o per una tasca in risalita, con pulizia del tratto già precedentemente rivestito.

- Nel primo caso, la colonna interna verrà inserita oltre la base e per tutta la profondità del tratto da provare. Si eseguirà quindi il lavaggio all'interno del rivestimento esterno e si immetterà da bocca foro il dreno di ghiaia fine estraendo tutto il rivestimento interno e scoprendo in tal modo il tratto di foro non rivestito da provare; il dreno sarà mantenuto appena sopra l'estremità inferiore del rivestimento esterno; in certi terreni (per esempio in sabbie fini) sarà necessario utilizzare un dreno più fine, quale ad esempio una sabbia medio-grossolana, per prevenire il parziale intasamento.
- Nel secondo caso, una volta eseguita la pulizia a fondo foro, senza mai oltrepassare la quota raggiunta dal rivestimento esterno, la colonna interna verrà estratta dal foro, si immetterà da bocca foro il dreno di ghiaia per un quantitativo idoneo all'altezza desiderata e, successivamente, si alzerà lentamente il rivestimento esterno per l'altezza necessaria a scoprire la tasca di prova.

Dovendo determinare il coefficiente di permeabilità verticale, si dovrà ancora utilizzare una seconda colonna di rivestimento, interna a quella di sondaggio, alla cui estremità è avvitato un cilindro di acciaio a pareti sottili sagomato a tagliente (tipo fustella per campioni indisturbati) da poter infiggere a pressione a fondo foro, per un tratto pari a circa 2 diametri; tutta la batteria interna, cilindro terminale compreso, deve essere a tenuta.

Nel caso in cui si debba determinare la permeabilità di terreni al di sopra del livello della falda freatica, le prove da eseguirsi dovranno essere precedute da una fase di saturazione, da considerarsi conclusa quando si raggiunga, in condizioni di portata immessa costante, la stabilità del livello dell'acqua all'interno del foro. Tale fase di saturazione dovrà comunque avere una durata non inferiore a 30 minuti.

2.4.4.5 Prova di permeabilità a carico idraulico variabile

La prova potrà essere eseguita per immissione o per estrazione di acqua dal foro.

2.4.4.5.1 *Prova per immissione*

Dovrà essere eseguita con le seguenti modalità:

- misurare il livello della falda prima di eseguire la prova;
- alzare il più possibile il livello esterno del rivestimento, tramite eventuale aggiunta di spezzoni di tubo, e riempire con acqua fino all'estremità superiore del tubo;
- dal momento in cui si sospende l'immissione dell'acqua si inizia a misurarne il livello nel

rivestimento ad intervalli di tempo frequenti, annotando ora, minuto e secondo di ciascuna lettura; gli intervalli di tempo, cioè la frequenza delle letture, verranno scelti basandosi sulla velocità di discesa dell'acqua nel rivestimento; a titolo di orientamento si dovrebbero eseguire le letture a decrementi circa costanti di livello dell'acqua; se l'altezza iniziale dell'acqua nel foro è 2 m o più al di sopra del livello freatico, si prenderanno le letture ogni 100 mm circa di discesa; se il dislivello iniziale è minore (ad esempio 0.5 ÷ 1 m) le letture verranno fatte ogni 25 ÷ 50 mm; le letture verranno proseguite fino a che il dislivello dell'acqua è inferiore ad 1/5 di quello all'inizio della prova;

Il coefficiente di permeabilità K (m/s) può essere determinato utilizzando le seguenti formule, in relazione al tipo di terreno e in accordo a quanto preventivamente richiesto dalla Società:

Metodo A (CIRIA, 1986)

$$K = \frac{A}{F * Tr}$$

dove:

A = area della sezione trasversale del foro al livello dell'acqua, cioè la sezione del rivestimento (m^2)

F = fattore di forma che dipende dalla geometria della prova (m)

Tr = tempo di riequilibrio (basic time-lag) (s).

Il calcolo del fattore di forma F viene eseguito con la soluzione analitica indicata da Hvorslev (1951), scelta in base alla geometria della prova, secondo uno dei casi riportati nella tabella successiva:

Per la determinazione di Tr si devono diagrammare i valori del rapporto h/h_0 , in scala logaritmica, con i corrispondenti valori di tempo t in scala decimale ($t = 0$ all'inizio della prova quando $h/h_0 = 1$, essendo h l'altezza misurata e h_0 l'altezza iniziale). Si traccia poi la retta che meglio collega i punti sperimentali diagrammati. In qualche caso, i punti sperimentali per valori di h/h_0 vicini ad 1 possono seguire una curva; ciò deve essere trascurato e la linea retta va tracciata attraverso i restanti punti. Si disegna quindi una retta parallela a quella precedente, ma che passa per l'origine degli assi ($h/h_0 = 1$; $t = 0$). Il valore del tempo t letto in corrispondenza del rapporto $h/h_0 = 0.37$ è il valore richiesto del tempo di riequilibrio T .

Metodo B (AGI, 1977)

$$K_i = \frac{A}{F (t_i - t_{i+1})} \ln \frac{H_i}{H_{i+1}}$$
$$K_{medio} = \frac{\sum_{(i=1-n)} K_i}{n}$$

dove:

H_i = altezza all'istante t_i della colonna d'acqua all'interno del foro di prova (m), misurata dal livello base della falda,

t_i = tempo i-esimo di lettura

F = fattore di forma che dipende dalla geometria della prova (m), calcolato come segue::

per $L \gg D$ $F = L$

per $L \leq D$ $F = 2pD+L$

(L e D assumono lo stesso significato illustrato nello schema di Hvorslev)

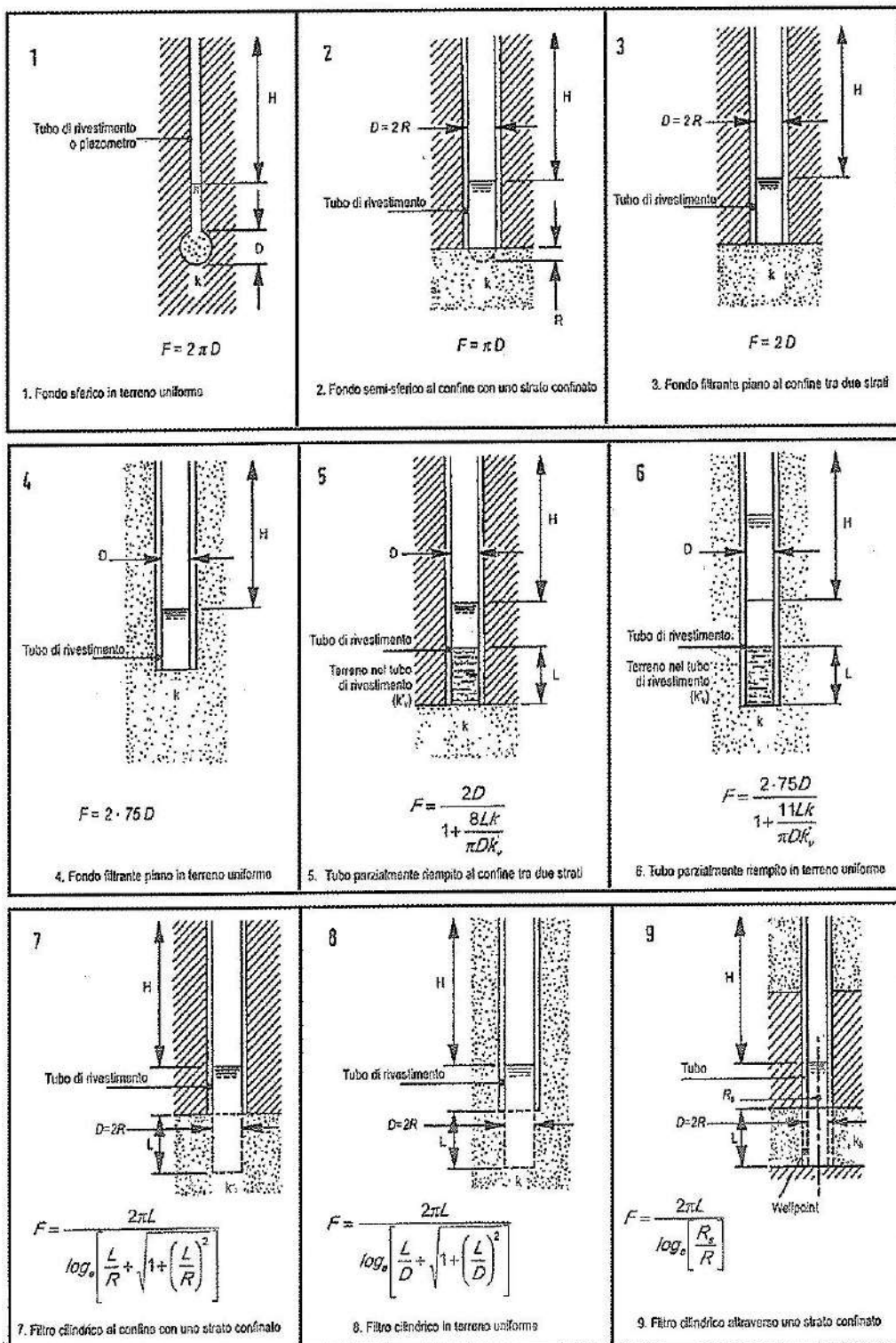
2.4.4.5.2 Prova per estrazione (o in risalita)

Viene eseguita in un foro rivestito quando è possibile abbassare il livello dell'acqua nel rivestimento mediante una pompa.

La preparazione del foro e della sezione di prova è analoga a quella della prova per immissione.

L'acqua viene estratta dal foro fino quasi alla quota della scarpa del rivestimento e le letture del livello dell'acqua vengono effettuate a diversi intervalli di tempo man mano che il livello risale nel foro. Le letture dovrebbero seguire gli stessi criteri indicati per la prova ad immissione, così come si annoteranno gli stessi dati inerenti la prova. Le letture verranno proseguite fino a che la differenza tra il livello dell'acqua nel foro e quello corrispondente alla falda sia inferiore a 1/5 della differenza ad inizio prova.

Il calcolo del coefficiente di permeabilità è condotto nel medesimo modo che per la prova di immissione. I valori del fattore di forma F sono i medesimi, poiché la geometria del flusso è simile anche se rovesciata.



2.4.4.6 Prova di permeabilità a carico idraulico costante

La prova, una volta preparato il tratto di prova in base allo schema prescelto, va eseguita con le seguenti modalità:

- immettere (o emungere) acqua pulita nella batteria di rivestimento fino alla determinazione di un carico idraulico costante, cui corrisponde una portata costante nel tempo;
- misurare la portata immessa (o emunta) a regime idraulico costante con il contalitri di sensibilità pari a 0.1 l;
- mantenere le condizioni di immissione (o emungimento) a regime costante, senza variazione alcuna, per una durata minima di 10 minuti;
- controllare la costanza del livello piezometrico con la sonda elettrica (protetta dal contatto con l'acqua in caduta), se in profondità, e con un'asta graduata, se prossimo a bocca foro;
- controllare la misura della portata: ogni 2 minuti (durata complessiva della prova 10 minuti) oppure ogni 5 minuti (durata complessiva della prova 30 minuti).

Il coefficiente di permeabilità K (m/s) viene determinato utilizzando la seguente formula:

$$K = \frac{Q}{F * h}$$

dove:

Q = portata immessa o emunta (m^3/s)

F = fattore di forma che dipende dalla geometria della prova (m)

h = differenza di altezza del livello dell'acqua (rispetto al livello statico iniziale) provocato dall'immissione o dall'emungimento (m)

2.4.4.7 Documentazione

La documentazione di prova dovrà contenere i seguenti dati:

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2;
- n° del sondaggio;
- schema geometrico del foro di sondaggio, diametro di perforazione e di rivestimento, profondità del rivestimento;
- descrizione litologica del tratto investigato;
- livello piezometrico della falda;
- metodo e attrezzature utilizzate per la preparazione del tratto di prova;
- modalità di prova (carico idraulico costante o variabile, per immissione o estrazione);
- profondità da p.c. del tetto e della base del tratto di prova;
- caratteristiche geometriche (diametro e lunghezza del tratto di prova non rivestito, diametro interno e profondità del rivestimento, carico idraulico costante o valore iniziale di carico idraulico per le prove a carico variabile);
- orario di inizio della prova;
- tabulati (su supporto cartaceo e informatico) con tutte le misure eseguite e le grandezze calcolate, tra cui le letture dei tempi e dei relativi valori di volume di acqua immessa o emunta (prove a carico costante) o dei valori di profondità dell'acqua nel foro (prove a carico variabile);

- grafico finalizzato al calcolo del T_r (per le prove a carico variabile), contenente in ordinata il rapporto h/h_0 , in scala logaritmica, e in ascissa i corrispondenti valori di tempo t in scala decimale;
- calcolo del fattore di forma (con indicazione della formula utilizzata);
- calcolo del coefficiente di permeabilità;
- eventuali note e osservazioni.

2.4.5 PROVE DI PERMEABILITÀ TIPO SLUG TEST

2.4.5.1 Descrizione della prova

La prova consente di misurare la permeabilità (o conducibilità idraulica) del terreno in un foro strumentato con piezometro a tubo aperto.

La prova presenta strette analogie con la prova Lefranc descritta nel capitolo precedente.

La prova Slug test è eseguita per immissione o emungimento di acqua dal foro, e può essere condotta a carico idraulico costante o variabile, in relazione alla conducibilità idraulica del terreno.

La prova fornisce il valore della permeabilità media dell'intero tratto di foro strumentato con tubo microfessurato.

2.4.5.2 Normative e specifiche di riferimento

- A.G.I. (1977) - Raccomandazioni sulla Programmazione ed Esecuzione delle Indagini Geotecniche
- CIRIA (1986) - Control of Groundwater for Temporary Works. Report 113.
- Bouwer H and Rice RC (1976) - A slug test for determining hydraulic conductivity of unconfined aquifers with completely or partially penetrating wells. Water Resour. Res. 12, 423-428.

In ogni caso l'Impresa dovrà attenersi a quanto di seguito specificato.

2.4.5.3 Caratteristiche delle attrezzature

- Sonda freaticometrica;
- eventuale datalogger o cella elettrica da inserire a fondo foro qualora sia necessario (per prove in risalita, in condizioni particolari)
- metro a nastro o asta graduata;
- contaltri di sensibilità pari a 0.1 l (la calibrazione del contaltri deve essere verificata in sito riempiendo un recipiente di volume noto e di capacità superiore a 100 l);
- eventuali serbatoi di acqua per l'immissione di acqua nel foro, di volumetria adeguata alle esigenze del caso.
- campionatore tipo bailer per l'estrazione statica dell'acqua, o, in alternativa, pompa sommersa (e generatore di alimentazione).

Altri sistemi di estrazione di acqua dal foro potranno essere richiesti in particolari situazioni; quali fori profondi e il cui livello di falda statica sia a profondità tale da rendere difficoltoso l'uso di pompe sommerse di adeguata capacità (in relazione al diametro del foro strumentato). Per esempio si potrà indurre l'abbassamento del livello di falda attraverso il pompaggio di aria in pressione in foro, utilizzando un compressore volumetrici di adeguata capacità (≥ 8 bar) e un dedicato sistema di connessioni e tubazioni. In tal caso la Società trasmetterà al fornitore tutte le informazioni tecniche necessarie.

2.4.5.4 Modalità esecutive

Nell'esecuzione della prova è necessario conoscere:

- le caratteristiche stratigrafiche del terreno oggetto di prova;
- le caratteristiche costruttive e di forma del piezometro oggetto di prova;

La profondità della falda dovrà essere nota; la prova non potrà essere realizzata qualora il tratto di prova si trovi sopra falda.

I vari assetti metodologici sono riportati nei paragrafi seguenti, e andranno scelti e calibrati in relazione alle caratteristiche del terreno e della strumentazione installata.

In particolare, qualora il tratto fessurato della strumentazione piezometrica si sviluppi a partire da una profondità inferiore a quella della falda, risulterà problematico eseguire prove a carico variabile per immissione, per incertezza nella determinazione di alcuni parametri di forma.

2.4.5.5 Prova di permeabilità a carico idraulico variabile

La prova potrà essere eseguita per immissione o per estrazione di acqua dal foro.

2.4.5.5.1 *Prova per immissione*

Dovrà essere eseguita con le seguenti modalità:

- misurare il livello della falda prima di eseguire la prova;
- riempire istantaneamente il piezometro con acqua chiara, fino all'estremità superiore del tubo;
- dal momento in cui si sospende l'immissione dell'acqua si inizia a misurarne il livello nel rivestimento ad intervalli di tempo frequenti, annotando ora, minuto e secondo di ciascuna lettura; gli intervalli di tempo, cioè la frequenza delle letture, verranno scelti basandosi sulla velocità di discesa dell'acqua nel tubo; a titolo di orientamento si dovrebbero eseguire le letture a decrementi circa costanti di livello dell'acqua; se l'altezza iniziale dell'acqua nel foro è 2 m o più al di sopra del livello freatico, si prenderanno le letture ogni 100 mm circa di discesa; se il dislivello iniziale è minore (ad esempio $0.5 \div 1$ m) le letture verranno fatte ogni 25 ÷ 50 mm; le letture verranno proseguite fino a che non si ripristina il livello statico iniziale di falda;

Quando richiesto il coefficiente di permeabilità K (m/s) potrà essere determinato utilizzando altre formulazioni (vedi per es. Bouwer e Rice (1976)), secondo le indicazioni trasmesse dalla Società, oppure utilizzando la seguente formula:

$$K = \frac{A}{F * Tr}$$

dove:

A = area della sezione trasversale del piezometro (m²)

F = fattore di forma che dipende dalla geometria della prova (m)

Tr = tempo di riequilibrio (basic time-lag) (s).

Per la determinazione di Tr si devono diagrammare i valori del rapporto h/h_0 , in scala logaritmica, con i corrispondenti valori di tempo t in scala decimale ($t = 0$ all'inizio della prova quando $h/h_0 = 1$, essendo h l'altezza misurata e h_0 l'altezza iniziale). Si traccia poi la retta che meglio collega i punti

sperimentali diagrammati. In qualche caso, i punti sperimentali per valori di h/h_0 vicini ad 1 possono seguire una curva; ciò deve essere trascurato e la linea retta va tracciata attraverso i restanti punti. Si disegna quindi una retta parallela a quella precedente, ma che passa per l'origine degli assi ($h/h_0 = 1$; $t = 0$). Il valore del tempo t letto in corrispondenza del rapporto $h/h_0 = 0.37$ è il valore richiesto del tempo di riequilibrio T .

Il calcolo del fattore di forma F viene risolto con la soluzione analitica indicata da Hvorslev (1951), scelta in base alla geometria della prova. Nel caso specifico di foro strumentato con piezometro F sarà determinato secondo:

$$F = \frac{2pD}{\ln(L/D)}$$

dove:

D = diametro del piezometro;

L = altezza del tratto fessurato, nel caso in cui il livello statico di falda sia più superficiale. Laddove il tubo fessurato si sviluppi a partire da una profondità inferiore a quella della falda, precedentemente all'inizio della prova vera e propria occorrerà versare nel foro grandi quantitativi di acqua, tali da saturare il terreno attorno a tutto il tratto fessurato sopra falda; in ogni caso, a causa delle incertezze che ne deriverebbero è preferibile l'esecuzione di prove in risalita.

2.4.5.5.2 Prova per estrazione (o in risalita)

Viene eseguita quando è possibile abbassare il livello dell'acqua nel piezometro, o attraverso una pompa sommersa, o con un campionatore statico, o con un compressore pneumatico e relative connessioni.

L'acqua viene estratta dal foro per la profondità necessaria, e/o secondo le indicazioni della società. L'estrazione potrà eventualmente avvenire fino alla quota di fondo tubo; qualora si operi tramite pompaggio di aria in pressione in foro con l'ausilio di un compressore pneumatico è comunque raccomandabile mantenersi al di sopra del tratto fessurato, per evitare la desaturazione del sistema drenante.

Terminata l'estrazione si misura immediatamente la profondità iniziale dell'acqua presente in foro, e si effettuano letture di livello a intervalli di tempo successivi, man mano che il livello risale nel foro. Le letture dovrebbero seguire gli stessi criteri indicati per la prova ad immissione, così come si annoteranno gli stessi dati inerenti la prova. Le letture proseguiranno fino all'approssimarsi del livello statico di falda.

Il calcolo del coefficiente di permeabilità è condotto nel medesimo modo della prova di immissione.

I valori del fattore di forma F sono i medesimi, poiché la geometria del flusso è invariata, anche se rovesciata: L rappresenta l'altezza del tratto microfessurato, nel caso in cui il livello statico di falda sia più superficiale. Laddove il tubo microfessurato si sviluppa a partire da una profondità inferiore a quella di falda, L rappresenta l'altezza compresa tra la base del piezometro (microfessurato) e la falda stessa.

2.4.5.6 Prova di permeabilità a carico idraulico costante

La prova va eseguita con le seguenti modalità:

- immettere (o emungere) acqua pulita nel piezometro fino alla determinazione di un carico idraulico costante, cui corrisponde una portata costante nel tempo;
- misurare la portata immessa (o emunta) a regime idraulico costante con il contalitri di sensibilità pari a 0.1;
- mantenere le condizioni di immissione (o emungimento) a regime costante, senza variazione alcuna, per una durata minima di 10 minuti;
- controllare la costanza del livello piezometrico con la sondina elettrica (protetta dal contatto con l'acqua in caduta), se in profondità, o con un'asta graduata, se prossimo a bocca foro;
- controllare la costanza dell'altezza e la misura della portata: ogni 2 minuti (durata complessiva della prova 10 minuti) oppure ogni 5 minuti (durata complessiva della prova 30 minuti).

Il coefficiente di permeabilità K (m/s) viene determinato utilizzando la seguente formula:

$$K = \frac{Q}{F * h}$$

dove:

Q = portata immessa o emunta (m^3/s)

h = differenza di altezza del livello dell'acqua provocato dall'immissione o dall'emungimento (m)

F = fattore di forma che dipende dalla geometria della prova (m), risolto come in precedenza:

$$F = \frac{2pD}{\ln (L/D)}$$

dove:

D = diametro del piezometro;

L = altezza del tratto fessurato (nel caso in cui il livello statico di falda sia più superficiale); laddove la strumentazione piezometrica microfessurata si sviluppa a partire da una profondità inferiore a quella di falda, L rappresenta l'altezza compresa tra la base del piezometro (fessurato) e il livello piezometrico dinamico di prova.

2.4.5.7 Documentazione

La documentazione di prova dovrà contenere i seguenti dati:

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2;
- n° del piezometro;
- schema geometrico del piezometro, se noto;
- stratigrafia del terreno, se nota;
- livello piezometrico della falda;
- modalità di prova (carico idraulico costante o variabile, per immissione o estrazione);
- profondità da p.c. del tetto e della base del tratto di prova, coincidenti con il tratto fessurato del piezometro;
- valore del carico idraulico costante (per le prove a carico costante) o valore iniziale di carico idraulico (per le prove a carico variabile);
- orario di inizio della prova;

- tabulati (su supporto cartaceo e informatico) con tutte le misure eseguite e le grandezze calcolate, tra cui le letture dei tempi e dei relativi valori di volume di acqua immessa o emunta (prove a carico costante) o dei valori di profondità dell'acqua nel foro (prove a carico variabile);
- grafico finalizzato al calcolo del T_r (per le prove a carico variabile), contenente in ordinata il rapporto h/h_0 , in scala logaritmica, e in ordinata i corrispondenti valori di tempo t in scala decimale;
- calcolo del fattore di forma;
- calcolo del coefficiente di permeabilità;
- eventuali note e osservazioni.

2.4.6 PROVE DI PERMEABILITÀ CON MICROMULINELLO

2.4.6.1 Descrizione della prova

La prova consiste nel misurare la velocità di deflusso verticale dell'acqua a diverse profondità in un foro di sondaggio appositamente attrezzato con un piezometro a tubo aperto.

Con il micromulinello non si misura il valore assoluto della permeabilità di un terreno, ma si possono localizzare le zone più permeabili, ottenendo indicazioni sulla sua eterogeneità.

2.4.6.2 Caratteristiche delle attrezzature

L'attrezzatura per la prova dovrà consistere in:

- un sensore (micromulinello), da calare nel foro, munito di un'elica in plastica dura montata su perni (rubini), sormontata da un contatore d'impulsi a cellula fotoelettrica e protetta da una gabbietta ovoidale del diametro di 42 mm (per tubi fessurati da 52/60 mm) o 70 mm (per tubi fessurati di 80/90 mm);
- un registratore di impulsi collegato ad un contasecondi che fornisce direttamente il numero di giri in un intervallo di tempo predeterminabile;
- un cavo elettrico con anima d'acciaio che collega il sensore al registratore e una bobina porta cavo con un dispositivo che consenta la misura esatta della profondità del sensore.

2.4.6.3 Preparazione del foro e posa del tubo microfessurato

La perforazione dovrà avere un diametro ≥ 100 mm e dovrà essere eseguita senza l'impiego di fanghi utilizzando come fluido di circolazione solo acqua pulita. La perforazione dovrà essere eseguita evitando rifluimenti in colonna e decompressioni del terreno circostante. Il foro dovrà essere rivestito con tubazioni metalliche provvisorie.

Il foro di sondaggio dovrà quindi essere attrezzato con un piezometro a tubo aperto in PVC di diametro adeguato all'introduzione del micromulinello, microfessurato e con uno spessore minimo di 3 mm, che dovrà avere alle due estremità, superiore e inferiore, due tratti ciechi, di cui quello inferiore (tubo-serbatoio) dovrà avere una lunghezza minima di 1 m e dovrà essere chiuso al fondo con un tappo sigillato. La superficie fessurata del tratto microfessurato del tubo in PVC dovrà essere pari ad almeno il 10%, con aperture delle fessure di $0.4 \div 1$ mm. L'intercapedine tra tubo microfessurato e parete del foro dovrà essere riempita con un filtro di ghiaietto ben lavato ($\phi = 2 \div 4$ mm), fino ad almeno 1 m sopra la sommità del tratto microfessurato. La batteria di tubi in PVC dovrà essere assemblata in modo che il tratto microfessurato ricada nell'intervallo di profondità indicato nel progetto delle indagini e comunque nel tratto di foro al di sotto della superficie freatica. Il tratto sommitale, tra livello freatico e piano campagna, potrà essere cementato con una miscela plastica acqua-cemento-bentonite nelle proporzioni in peso di 100-30-5 parti rispettivamente, previa realizzazione di un tappo impermeabile dello spessore di almeno 1 m sopra il dreno in ghiaietto.

2.4.6.4 Calibrazione del micromulinello

Il micromulinello deve essere preventivamente calibrato per ottenere il grafico di trasformazione da numero di giri al secondo (misurati) a cm/s (velocità dell'acqua).

In particolare la calibrazione permetterà di determinare i seguenti parametri del sensore:

MSQX-MSD-Rev0

La sola edizione controllata del documento è quella diffusa attraverso la rete informatica.

Tutte le copie disponibili su carta o su qualsiasi altro supporto, escluso l'originale, non sono soggette a controllo e il loro stato di aggiornamento deve essere verificato prima dell'uso.

- V_0 = velocità iniziale di spunto, che dipende dagli attriti di origine meccanica che si sviluppano nel perno dell'elica;
- R = coefficiente di riduzione, che tiene conto della perturbazione della velocità naturale che si verifica per la presenza dell'elica.
- Prima di calare il sensore nel foro, si dovrà controllare che l'elica ruoti liberamente e che il contatore di impulsi funzioni regolarmente.

2.4.6.5 Modalità esecutive

Le operazioni da eseguire dovranno essere le seguenti:

- inserimento del sensore nel tubo microfessurato e arresto al contatto con la falda;
- controllo del buon funzionamento dell'elica e del contatore sollevando ed abbassando il contatore di qualche decimetro, provocando così la rotazione dell'elica;
- arresto del sensore alla quota voluta ed azzeramento di contatore e contasecondi;
- misura del numero di giri al secondo dell'elica in un tempo compreso tra 20 e 200 secondi e tale da consentire almeno 10 giri dell'elica, tramite azionamento contemporaneo del contatore di impulsi e del contasecondi e successivo arresto;
- determinazione del senso della corrente (ascendente o discendente) osservando rispettivamente l'aumento o la diminuzione della velocità di rotazione del micromulinello dopo averlo calato alcuni centimetri rispetto alla posizione di misura (il maggior numero di giri corrisponde al moto controcorrente);
- abbassamento del sensore di 0.25 m e ripetizione delle misure come sopra descritto, fino al raggiungimento della massima profondità stabilita dal progetto delle indagini o dalla Società;

Dopo aver eseguito una prima serie di misure in discesa, dovrà essere eseguita una seconda serie di misure in risalita alle medesime quote. Nel caso le coppie di valori alla medesima prova non siano omogenee, la prova dovrà essere ripetuta con un nuovo ciclo completo di misure.

Le misure inoltre dovranno essere eseguite in due diverse condizioni:

- nelle condizioni idrauliche naturali (livello piezometrico statico);
- dopo immissione o estrazione d'acqua, a regime idraulico stabilizzato (livello piezometrico dinamico).

Il livello piezometrico statico e quello dinamico (stabilizzato) dovranno essere misurati accuratamente prima di iniziare le prove; altrettanto dicasi per la portata immessa o emunta della prova tipo b), misurata con contatore appositamente inserito nel circuito e verificata mediante prove di riempimento di recipiente di volume noto e di adeguate dimensioni.

Nel caso di falda artesianica, per effettuare la prova in condizioni naturali, si deve prolungare la parte cieca del piezometro fuori terra, fino ad ottenere un livello statico. Per la prova di tipo b) è in questo caso sufficiente ripristinare la situazione di artesianesimo misurando la portata di acqua che fuoriesce.

Terminate le prove, il foro potrà essere utilizzato come piezometro a tubo aperto ed il terminale dovrà essere perciò protetto con apposito chiusino di protezione in acciaio verniciato, munito di lucchetto, cementato al terreno per 20 ÷ 30 cm. Nel caso di installazione in luoghi aperti al traffico veicolare o pedonale (strade, piazzali, marciapiedi), e solo su specifica richiesta della D.L., in luogo

del chiusino standard dovrà essere installato idoneo chiusino carrabile in ghisa, posto in opera a filo della pavimentazione esistente.

2.4.6.6 Documentazione

La documentazione preliminare e finale dovrà comprendere:

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2;
- n° del sondaggio;
- metodo e diametro di perforazione;
- stratigrafia del foro di sondaggio (se il foro è stato eseguito a carotaggio continuo);
- tipo e schema di installazione nel foro del tubo piezometrico;
- grafico della calibrazione iniziale dello strumento nel tipo di tubo prescelto;
- schema geometrico del foro;
- livello piezometrico statico della falda;
- livello piezometrico dinamico (stabilizzato) della falda;
- portata immessa od emunta;
- tabella delle velocità misurate nelle due condizioni di prova;
- grafico delle velocità misurate nelle due condizioni di prova in funzione della profondità;
- grafico della differenza delle velocità misurate nelle due condizioni di prova in funzione della profondità.

2.4.7 PROVA DI POMPAGGIO

2.4.7.1 Descrizione della prova

La prova di pompaggio si esegue per determinare le caratteristiche idrodinamiche di un acquifero. Si procede emungendo (o immettendo) una portata d'acqua costante da un pozzo o una perforazione di sondaggio opportunamente attrezzata e misurando gli abbassamenti del livello d'acqua nello stesso foro e in un sistema di piezometri di misura installati secondo uno schema concordato con la Società (normalmente a simmetria radiale).

La prova di pompaggio prevede delle prove preliminari "a gradini di pompaggio", eseguite per valutare le caratteristiche dell'insieme acquifero - pozzo ed una prova "a portata costante di lunga durata", con la quale si ottengono i parametri idrodinamici dell'acquifero sollecitato.

2.4.7.2 Normative e specifiche di riferimento

- A.G.I. (1977) - Raccomandazioni sulla Programmazione ed Esecuzione delle Indagini Geotecniche
- ASTM D4050 - Standard Test Method for Withdrawal and Injection Well Tests for Determining Hydraulic Properties of Aquifer Systems
- ASTM D4106 - Standard Test Method for Determining Transmissivity and Storage Coefficient of Nonleaky Confined Aquifers by the Theis Nonequilibrium Method

La prova dovrà comunque essere conforme a quanto di seguito specificato.

2.4.7.3 Operazioni preliminari

2.4.7.3.1 *Modalità di perforazione del pozzo*

Il foro dal quale si eseguirà l'emungimento (o il riempimento) verrà realizzato secondo le indicazioni della Società. Normalmente avrà un diametro variabile in relazione alle dimensioni della pompa da utilizzarsi, tra 200 e 1000 mm.

Le modalità di perforazione dovranno essere tali da garantire il sostentamento del foro fino alla posa della tubazione permanente, eventualmente ricorrendo a tubazioni di rivestimento provvisorio. In ogni caso non è permesso l'ausilio di fanghi di perforazione, altri additivi o metodologie che modifichino la permeabilità del terreno.

2.4.7.3.2 *Posa della tubazione permanente*

A perforazione ultimata viene calata nel foro la tubazione permanente, finestrata nel tratto di prova. La tubazione dovrà avere le seguenti caratteristiche

- finestratura del tratto filtrante tale che il rapporto tra vuoti e pieni non sia inferiore al 10%;
- estremità inferiore chiusa con un fondello;
- diametro della tubazione tale da garantire il funzionamento della pompa sommersa, con qualche centimetro di margine di spazio anulare;

La batteria di tubi deve essere liscia e senza ingrossamenti significativi in corrispondenza dei giunti; lo spessore tra tubo finestrato e parete del foro (o del rivestimento provvisorio) deve essere di almeno 10 cm;

2.4.7.3.3 Scelta e posa del dreno

L'intercapedine tra tubo e pareti del foro nel tratto in prova deve essere riempito con un dreno. Il dreno dovrà essere preventivamente selezionato ed autorizzato dalla Società, sulla base delle seguenti caratteristiche:

- $D_{15} \text{ dreno (diametro corrispondente al 15\% del dreno)} < 4 \cdot D_{85} \text{ del terreno costituente l'acquifero};$
- $D_{15} \text{ dreno} > 4 \cdot D_{15} \text{ acquifero};$
- $D_{15} \text{ dreno} \geq 2D$, dove D è il diametro dell'apertura delle fessure del tubo finestrato;
- contenuto di frazione fine (passante al vaglio 0.074 mm) inferiore al 5%;
- diametro massimo dei grani $< 75 \text{ mm}$.

L'intercapedine tra tubo e pareti del foro nel tratto sovrastante quello di prova deve essere riempito con argilla, bentonite o altro materiale impermeabile. Le profondità raggiunte dal materiale di riempimento e/o dal dreno devono essere progressivamente verificate con scandaglio.

2.4.7.3.4 Spurgo

Una volta completata la preparazione del pozzo sarà necessario eseguire lo spurgo.

Lo spurgo potrà realizzarsi con modalità simili a quanto previsto per la prova di pompaggio a gradini; L'entità delle portate emunte e dei tempi di emungimento necessari alla realizzazione dello spurgo andranno concordati con la Società.

2.4.7.4 Caratteristiche delle attrezzature

L'esecuzione della prova richiede l'attrezzatura elencata di seguito (per prova in emungimento):

- pompa adeguata alle portate di emungimento previste e alla prevalenza richiesta;
- generatore di potenza adeguata;
- tubazione di collegamento del fondo foro alla superficie, di diametro adeguato; tale tubazione non deve avere flange di giunzione nel tratto finestrato per non ostacolare il flusso dell'acqua verso la pompa o la presa di fondo;
- opportuno sistema per poter variare le portate di emungimento durante la prova. Nel caso di pompa sommersa potrà per esempio essere costituito da una saracinesca sul tubo di mandata utilizzato per convogliare parte dell'acqua in superficie.
- sistema per la misura delle portate, costituito da un contalitri di sensibilità adeguata o un lettore magnetico di portata, o da una vasca di capienza adeguata (per la misura con il metodo volumetrico);
- tubazioni o attrezzature idonee allo scarico delle acque emunte in zone anche distanti dall'area di pompaggio e di misura;
- acquisitori manuali (freatimetri) e automatici per la registrazione periodica dei livelli di abbassamento e di risalita presso i vari piezometri di misura; laddove si utilizzino datalogger o trasduttori elettrici di pressione è raccomandato l'accoppiamento con il freatimetro, per verifica e controllo periodico delle letture; la sensibilità degli strumenti deve essere tale da registrare variazioni centimetriche della pressione d'acqua;

- strumentazione freatimetrica e acquisitore automatico (in accoppiamento) per la misura dei livelli statici presso il pozzo di prova; Il misuratore di livello dovrà essere protetto dalle turbolenze e ricadute d'acqua attraverso un tubo cieco calato dentro il foro.

2.4.7.5 Prova di pompaggio a gradini

Questa prova ha lo scopo principale di definire la curva caratteristica del pozzo e di valutare la portata critica, in funzione della quale andrà calcolata la portata per l'esecuzione della *prova di lunga durata*; la prova a gradini permette inoltre di valutare la portata specifica e l'abbassamento specifico.

2.4.7.5.1 Modalità esecutive

La prova si esegue prevedendo una successione di step di abbassamenti e risalite del livello di falda tramite azionamento e arresto del pompaggio.

La portata (Q) emunta durante ogni gradino cresce secondo la progressione Q, 2Q, 3Q, ecc. La portata relativa al primo gradino corrisponde grossomodo alla portata minima della pompa; oppure può determinarsi sulla base della prova di spurgo iniziale.

La durata di ciascun gradino è costante, normalmente compresa tra 1 e 3 ore circa, e dovrà essere sufficiente ad ottenere la stabilizzazione del livello piezometrico dinamico. Il numero di gradini dovrà essere tale da garantire la misura della portata in uscita su almeno 4 valori idonei per la successiva costruzione della curva portata - abbassamenti.

Il volume emunto durante ogni prova deve comunque essere pari a:

$$V \geq 2.5 \cdot D^2 \cdot s$$

dove

D = diametro del pozzo, incluso il dreno

s = abbassamento del livello d'acqua per effetto del pompaggio

Ad ogni gradino di prova segue un periodo di sosta tale da permettere il recupero totale del livello iniziale. In condizioni standard il recupero del livello di falda sarà osservato per una durata massima prossima a quelle delle fasi di abbassamento.

Durante ogni gradino vanno registrate le portate emunte, misurate con contalitri, le depressioni indotte all'interno del foro misurate tramite freatimetro, ed i tempi.

2.4.7.5.2 Interpretazione dei risultati e calcoli

I risultati della prova vanno riportati nei seguenti grafici:

- grafico lineare Abbassamenti s [m] in ordinate e Portate Q [m³/h] in ascisse, sul quale si costruisce la curva caratteristica per interpolazione dei punti relativi ai singoli gradini. Su tale grafico si individua la portata critica Q_c. La Q_c è determinata in ascissa dalla coordinata del punto di massima curvatura (raggio minimo).
- grafico Abbassamenti s [m] - Portata Specifica Q/s [m³/(hm)] (abbassamenti in ordinate ed portata specifica in ascisse). La retta che si ottiene consente di calcolare la portata specifica relativa, cioè la portata costante che determina un abbassamento di 1 m.
- grafico Portate Q [m³/h] - Abbassamenti Specifici s/Q [mh/m³] (abbassamenti specifici in ordinate e portate in ascisse). In base al tipo di retta ottenuto è possibile distinguere la presenza di un regime sia turbolento che laminare (retta non passante per l'origine), deflusso turbolento (retta passante per l'origine). deflusso laminare con perdite di carico trascurabili (retta parallela

all'asse delle ascisse), presenza di perdite di carico quadratiche (retta concava verso il basso). Si ricavano inoltre i coefficienti B e C dell'equazione di Jacobs, laddove B si ottiene intersecando la retta con l'asse degli abbassamenti specifici e C è definito dalla pendenza della retta rappresentativa per una data portata.

In accordo all'equazione di Jacobs l'abbassamento specifico s/Q è legato ai coefficienti B e C dalla relazione:

$$s/Q = B + CQ$$

2.4.7.6 Prova di pompaggio a portata costante

Questa prova permette di acquisire i dati relativi alle caratteristiche idrodinamiche dell'acquifero e di stabilire il raggio di influenza del pozzo.

2.4.7.6.1 *Modalità esecutive*

La prova si esegue attraverso una fase a pompaggio costante, durante la quale si misurano gli abbassamenti del livello di falda nel pozzo e presso una serie di piezometri di osservazione indicati dalla Società.

Il numero dei piezometri di misura potrà variare fino a un massimo di 10, e potranno distare da pochi m fino a oltre 500 m dal punto di pompaggio.

La portata da emungere verrà scelta sulla base delle risultanze della prova a gradini eseguita precedentemente, in maniera tale da stressare l'acquifero al massimo consentito dalle caratteristiche del pozzo. In particolare la portata emunta non dovrà superare il limite che causerebbe il prosciugamento del pozzo durante il periodo di prova.

L'inizio della prova avverrà solo dopo che i livelli dell'acqua nel pozzo e nei piezometri si sono ristabiliti dopo le prove di portata iniziale. A tale scopo sarà opportuno prevedere un periodo di sosta opportuno, normalmente compreso tra 12 e 24 ore.

Immediatamente prima dell'inizio della prova va misurato il livello dell'acqua nel pozzo e nei piezometri di misura.

Durante la prova andranno eseguite misurazioni periodiche del livello di falda all'interno del pozzo e dei piezometri di misura. Andrà inoltre monitorata la portata emunta dal pozzo principale.

Le misurazioni di livello da effettuarsi nel pozzo di pompaggio durante la prova andranno eseguite avendo cura di inserire un tubo fessurato entro il quale calare il trasduttore o la sonda freaticometrica, al fine di ridurre l'effetto della turbolenza esistente nel pozzo.

La cadenza delle misure potrà avvenire secondo lo schema seguente, salvo intervalli differenti indicati dalla Società o condizionati dagli strumenti di misura e relativi programmi di acquisizione automatica.

<i>Periodo di osservazione da inizio prova</i>	<i>Cadenza delle misure</i>
da 0 a 3 min	30 s
da 3 a 15 min	1 min
da 15 a 60 min	5 min
da 60 a 120 min	10 min
da 120 a 180 min	20 min
da 3 h a 15 h	1 h
oltre 15 h	5 h

In presenza di acquisitori automatici a lettura costante, gli stessi dovranno essere in grado di acquisire dati con una frequenza massima pari a 1 lettura/minuto.

La durata complessiva del pompaggio varrà comunicato dalla Società e potrà subire variazioni in corso d'opera. in genere, senza altre indicazioni, la prova durerà circa 72 ore.

La portata sarà misurata attraverso un contalitri installato sul tratto rettilineo orizzontale della tubazione in uscita dal pozzo.

Un'ulteriore verifica della portata sarà eseguita periodicamente attraverso l'installazione di un manicotto sulla tubazione in uscita e la presenza di una vasca graduata del volume minimo di 200 litri.

2.4.7.6.2 Interpretazione dei risultati e calcoli

I risultati della prova vanno riportati nei diagrammi semilogaritmici (uno per ogni singolo punto di misura), con gli abbassamenti s [m] in ordinate e il logaritmo dei tempi t [h] in ascisse. I punti dovrebbero disporsi secondo una retta, dopo un tratto iniziale curvilineo; da tali grafici si leggono gli abbassamento Δs corrispondenti ai singoli cicli logaritmici e i tempi t_0 corrispondenti all'intercetta delle rette con le ordinate di abbassamento;

Per ogni punto di misura concordato con la Società si calcolerà, :

- la trasmissività T [m^2/s], dalla formula seguente, calcolata sia sulla curva di abbassamento sia sulla curva di risalita:

$$T = \frac{0.183 Q}{\Delta s}$$

dove Δs = abbassamento [m] del livello dell'acqua del piezometro per un ciclo logaritmico
 Q = portata [m^3/s]

- il coefficiente di immagazzinamento S adimensionale, calcolata sulla curva di abbassamento o risalita, secondo le indicazioni della Società:

$$S = \frac{2.25 T t_0}{r^2}$$

dove t_0 = tempo fittizio [s] corrispondente all'intercetta della retta degli abbassamenti con l'ordinata di abbassamento nullo (livello iniziale della piezometrica)
 r = distanza [m] del piezometro di misura dall'asse del pozzo.

I risultati della prova si riporteranno anche in un diagramma cumulativo semilogaritmico (uno per ogni istante di tempo considerato dall'inizio del pompaggio), con l'abbassamento della piezometrica in ordinate e il logaritmo della distanza dei vari punti di osservazione dal pozzo in ascissa. Idealmente i punti dovrebbero disporsi lungo una retta, la cui intercetta con l'ascisse ad abbassamento nullo ($\Delta s=0$) fornisce il valore R_0 del raggio di influenza del pozzo; gli intervalli di tempo per i quali realizzare i diagrammi andranno valutati e concordati sulla base dei risultati ottenuti in corso d'opera.

Nel caso ideale di regime di equilibrio il valore della permeabilità sarà deducibile anche dalla seguente espressione, valida per acquiferi confinati o liberi (confinati inferiormente), per i quali sia noto lo spessore (b):

$$k = \frac{Q \log(r_2 / r_1)}{\pi (h^2_2 - h^2_1)}$$

dove r_i = distanza tra asse del pozzo e asse del piezometro i-esimo
 h_i = altezza della colonna d'acqua (misurata dalla base dell'acquifero) in corrispondenza del piezometro i-esimo

2.4.7.7 Documentazione

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2 (per le prove a gradini e per la prova di lunga durata)
- descrizione del tempo atmosferico e della temperatura;
- n° del pozzo;
- metodo e diametro di perforazione del pozzo;
- stratigrafia del pozzo (se il foro è stato eseguito a carotaggio continuo);
- schema geometrico del pozzo, profondità e diametro del rivestimento; profondità del tratto finestrato;
- schema geometrico dei piezometri di misura;
- planimetria generale in scala adeguata con ubicazione del pozzo e dei piezometri di misura;
- livello piezometrico statico della falda, rilevato in ogni punto di misura ad inizio prova;
- tipo e caratteristiche della pompa utilizzata (per le prove a gradini e di lunga durata);
- tipo e caratteristiche dei misuratori di portate utilizzati (per le prove a gradini e di lunga durata);

- tipo e caratteristiche degli acquisitori manuali o automatici utilizzati per la registrazione periodica dei livelli di abbassamento e di risalita;
- tabulato (su supporto cartaceo e informatico) relativo alla prova a gradini, contenente, per ogni gradino: le portate emunte, ora e durata dell'emungimento, durata di ogni fase di recupero, le quote di falda registrate all'inizio e alla fine di ogni fase di emungimento;
- grafico, relativo alla prova a gradini, Abbassamenti s [m] Portate Q [m^3/h], in scala adeguata per poter calcolare la portata critica;
- grafico, relativo alla prova a gradini, Abbassamenti s [m] - Portata Specifica Q/s [$m^3/(hm)$], in scala adeguata per poter calcolare la portata specifica;
- grafico, relativo alla prova a gradini, Portate Q [m^3/h] - Abbassamenti Specifici s/Q [mh/m^3], in scala adeguata per poter definire il tipo di deflusso e poter calcolare i coefficienti dell'equazione di Jacobs;
- tabulato (su supporto cartaceo e informatico) relativo alla prova di lunga durata, contenente, per ogni punto di misura, secondo la cadenza delle misure previste: ora, tempi, portata nominale, portata reale, abbassamenti misurati nel pozzo e in ogni piezometri;
- tabulato (su supporto cartaceo e informatico) relativo al recupero dei livelli di falda al termine della prova di lunga durata, contenente, per ogni punto di misura, secondo la cadenza delle misure previste: ora, tempi, livelli di risalita misurati nel pozzo e in ogni piezometro;
- diagrammi (uno per ogni singolo punto di misura), Abbassamenti s [m] tempi t [h], in scale adeguate per poter definire l'abbassamento Δs corrispondente ad un ciclo logaritmico e il tempo t_0 di all'intercetta della retta con l'ordinata di abbassamento;
- diagrammi (uno per ogni istante di tempo considerato dall'inizio del pompaggio) Abbassamenti - logaritmo della distanza dei punti di osservazione dal pozzo, in scale adeguate per poter definire il valore R_0 del raggio di influenza del pozzo;
- valori calcolati di trasmissività T e del coefficiente di immagazzinamento S ;
- copia dei certificati di taratura della strumentazione, non anteriori di 6 mesi alla data di esecuzione della prova;
- eventuali note e osservazioni.

2.5 PROVE PENETROMETRICHE E DILATOMETRICHE CONTINUE

2.5.1 PREFORO

Le prove descritte nei capitoli seguenti possono eseguirsi dalla superficie del terreno o all'interno di prefori già predisposti.

La presenza del preforo potrà rendersi necessaria:

- quando si presentino in superficie strati di riporto, di materiali grossolani o litoidi tali da impedire la penetrazione dello strumento di prova;
- qualora la prova penetrometrica in corso non raggiungesse la profondità richiesta dal progetto delle indagini, per rifiuto alla penetrazione della punta. In tal caso la batteria penetrometrica dovrà essere estratta, e il preforo dovrà realizzarsi fino alla profondità raggiunta precedentemente, superando l'ostacolo o il tratto di terreno che ha interrotto la penetrazione.
- quando esplicitamente e preventivamente richiesto dalla Società.

Il preforo potrà essere eseguito:

- con "puntazza" di acciaio, di diametro comparabile a quello dello strumento di prova, da infiggere con la stessa attrezzatura di percussione o spinta richiesta per l'esecuzione della prova.
- con apposito sondaggio a rotazione o a distruzione, di diametro concordato con la Società, compensato a parte. La stabilità delle pareti del preforo dovrà essere assicurata con un rivestimento provvisorio o a perdere, oppure, previa approvazione da parte della Società, con fango di circolazione.
- (esclusivamente dalla superficie, in presenza di superfici pavimentate) previa carotatrice elettrica, o con scavo eseguito con martello elettrico/pneumatico, da compensarsi a parte.

In particolare, laddove siano previste prove penetrometriche continue (CPT, CPTE, CPTU, S-CPT), la puntazza dovrà sempre essere presente e a disposizione sul sito di indagine.

Lo schema del preforo, con precisati i relativi elementi (profondità, diametro, rivestimento, fluido, ecc.) dovrà costituire parte integrante della documentazione di prova. Qualora la perforazione sia eseguita a carotaggio dovrà essere allagata la descrizione stratigrafica geotecnica dei terreni attraversati.

Una volta completato il preforo la prova verrà ripresa e procederà fino alla quota prevista.

2.5.2 PROVA PENETROMETRICA DINAMICA CONTINUA DPSH

2.5.2.1 Descrizione della prova

La prova penetrometrica dinamica continua consiste nell'infiggere verticalmente nel terreno una punta conica metallica, avvitata all'estremità inferiore di una batteria di aste metalliche, mediante battitura con un maglio che cade liberamente da un'altezza costante; i colpi necessari per la penetrazione di ciascun tratto di lunghezza prefissata vengono annotati e costituiscono la resistenza del terreno alla penetrazione della punta conica.

2.5.2.2 Normative e specifiche di riferimento

- A.G.I. (1977) - Raccomandazioni sulla Programmazione ed Esecuzione delle Indagini Geotecniche
- ISSMFE Technical Committee on Penetration Testing (1988) - Dynamic Probing (DP): International Reference Test Procedure
- UNI EN 1997-2 (2007) - Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica. Parte 2. Indagini e prove nel sottosuolo [EN 1997-2 - Eurocode 7 - Geotechnical Design - Part 2: Ground investigation and Testing]
- ISO 22476-2:2005 - Geotechnical Investigation and Testing - Field Testing - Part 2: dynamic Probing

La prova DPSH non è stata standardizzata dall'ASTM.

Secondo le raccomandazioni AGI la prova rientra nel tipo "Meardi - Superpesante", con peso del maglio pari a 73 kg e intervallo di battuta contacolpi pari a 30 cm.

Secondo la terminologia ISSMFE, ripresa dall'Eurocodice, la prova descritta rientra nel tipo "superpesante" (DPSH = Dynamic Probing Super Heavy) con peso del maglio pari a 63.5 kg e intervallo di battuta contacolpi pari a 20 cm (DPSH-B secondo ISO 22476-2:2005).

L'utilizzo di apparati di prova di tipo differente (prova DPL, DPM, DPH) non è ammesso se non dietro esplicita autorizzazione della Società. In tal caso si trasmetteranno preventivamente all'impresa tutte le indicazioni tecniche necessarie alla realizzazione della prova stessa.

L'attrezzatura da utilizzarsi e le modalità esecutive dovranno essere conformi ad una delle due specifiche di riferimento citate, secondo le indicazioni fornite preventivamente dalla Società.

In assenza di indicazioni specifiche si farà riferimento alla tipologia AGI - Meardi.

2.5.2.3 Caratteristiche delle attrezzature

2.5.2.3.1 *Attrezzature per prove conformi alle Raccomandazioni AGI*

L'attrezzatura conforme alle Raccomandazioni AGI (1977) dovrà consistere di:

- una batteria di aste interne (diametro = 34 mm), che devono avere un peso per metro lineare pari a 4.6 kg/m (± 0.5 kg/m), alla cui estremità inferiore è avvitata una punta conica avente diametro 50.8 mm, angolo di apertura di 60° e altezza complessiva di 73 mm; l'asta alla cui estremità inferiore è avvitata la punta conica deve essere perfettamente liscia e calibrata negli ultimi 50 cm; il massimo accorciamento della punta conica per usura non dovrà essere superiore a 5 mm;

- una batteria esterna di tubi metallici di rivestimento, del diametro ext. di 48 mm (diametro int. = 38 mm) e del peso per metro lineare di 5.3 kg/m, alla cui estremità inferiore è avvitata una scarpa sagomata a tagliente; l'intercapedine tra il diametro interno della scarpa tagliente e il diametro delle aste interne non deve superare $0.2 \div 0.3$ mm, mentre al di sopra della scarpa tale intercapedine deve aumentare rapidamente fino a 2 mm;
- dispositivo di infissione della punta, costituito da un maglio del peso di 73 kg, che cade liberamente da un'altezza di caduta di 0.75 m, e da una testa di battuta che dovrà avere un peso non superiore a 55 kg, avvitata alla sommità della batteria di aste;
- centratore tra la testa di battuta e il piano campagna, con funzioni di guida e irrigidimento.

Al fine di ridurre l'attrito laterale sulle aste potrà essere consentito l'impiego di fango (dietro utilizzo di aste cave).

L'impiego del rivestimento è raccomandato durante l'esecuzione della prova.

2.5.2.3.2 Attrezzature per prove conformi alle Procedure ISSMFE e ISO 22476-2

L'attrezzatura conforme alla Procedura di Riferimento ISSMFE (1988) e ISO dovrà consistere di:

- una batteria di aste, del diametro di 32 ± 0.3 mm e del peso per metro lineare max. di 8 kg/m, alla cui estremità inferiore è avvitata una punta conica avente diametro 50.5 ± 0.3 mm, altezza pari a 25.3 ± 0.4 mm ed angolo di apertura di 90° ; sopra il cono è presente una parte cilindrica di altezza pari a 51 ± 2 mm e una parte tronco-conica, sopra la parte cilindrica, anch'essa di altezza pari a 51 ± 2 mm;
- dispositivo di infissione della punta, costituito da un maglio del peso di 63.5 ± 0.5 kg che cade liberamente da un'altezza di caduta di 0.75 ± 0.02 m e da una testa di battuta, avvitata alla sommità della batteria di aste, del peso non superiore a 30 kg;
- (dietro preventiva richiesta della Società) una chiave dinamometrica di torsione con capacità > 200 Nm (gradazione < 5 Nm), in grado di misurare l'attrito lungo la batteria di aste.

Al fine di ridurre l'attrito laterale sulle aste potrà essere consentito l'impiego di fango (dietro utilizzo di aste cave).

L'impiego del rivestimento è facoltativo, ma vivamente raccomandato.

2.5.2.4 Modalità esecutive

2.5.2.4.1 Prove conformi alle Raccomandazioni AGI

Nel caso venga utilizzata l'attrezzatura prevista dall'AGI (1977), la prova penetrometrica dinamica dovrà essere eseguita prevedendo le seguenti fasi:

- infissione della punta conica nel terreno per tratti consecutivi di 30 cm, misurando il numero di colpi necessari (N_{30});
- dopo un'infissione della punta per una lunghezza variabile da un minimo di 30 cm ad un massimo di 150 cm, infissione del rivestimento rilevando il numero di colpi necessari;
- sospensione della prova quando il numero di colpi per infiggere la punta supera il valore di 100 (rifiuto alla penetrazione della punta);

Le due batterie (aste e rivestimento) devono essere reciprocamente libere per tutta la durata della prova; ciò può essere controllato ruotando frequentemente la batteria di aste. Nel caso di blocco

delle due batterie, a seguito di infiltrazione di materiale nell'intercapedine, la prova dovrà essere sospesa e tale eventualità annotata nel rapporto di prova.

Se si dovesse incontrare rifiuto alla penetrazione del rivestimento (numero di colpi per l'infissione di 30 cm superiore a 100), la prova potrà essere proseguita, a patto che le aste siano in grado di ruotare liberamente all'interno del foro.

Durante ogni prova sarà scattata una foto a colori del penetrometro installato sul punto di indagine.

2.5.2.4.2 Prove conformi alle Procedure ISSMFE e ISO 22476-2

Nel caso venga utilizzata l'attrezzatura prevista dall'ISSMFE (1988) e ISO, la prova penetrometrica dinamica dovrà essere eseguita prevedendo le seguenti fasi:

- infissione della punta conica nel terreno per tratti consecutivi di 20 cm, misurando il numero di colpi necessari (N_{20}); la velocità di infissione deve essere compresa tra 15 e 30 colpi/minuto; ogni interruzione superiore a 5 minuti deve essere registrata,
- rotazione delle aste di $1\frac{1}{2}$ giri (o fino a raggiungere la massima torsione) per ogni metro di perforazione; qualora sia utilizzata la chiave dinamometrica graduata dovrà essere annotata la torsione raggiunta,
- sospensione della prova quando il numero di colpi per infiggere la punta supera il valore di $N_{20} = 100$ continuativamente; qualora il numero di colpi sia inferiore a $N_{20} = 5$, si può registrare la profondità di penetrazione anche per singolo colpo.

L'utilizzo del rivestimento è richiesto, salvo diversa disposizione della Società.

Al termine della prova, qualora sia esplicitamente richiesto, si proverà a misurare la profondità da p.c. del tratto di foro aperto e ispezionabile. Tale quota verrà riportata in una nota nella documentazione finale; in taluni casi tale valore potrà trovare riscontro approssimativo nella soggiacenza di falda freatica.

Durante ogni prova sarà scattata una foto a colori del penetrometro installato sul punto di indagine.

2.5.2.5 Calcoli

Per garantire l'uniformità dei risultati di prove eseguite con diverse attrezzature e modalità, dovrà essere calcolata la resistenza alla penetrazione dinamica q_d (MPa), che tiene conto delle caratteristiche dimensionali e di peso dell'attrezzatura, in accordo alla seguente espressione:

$$q_d = \frac{M}{M + M'} * \frac{M g H}{A e} \quad [\text{MPa}]$$

dove:

M = massa del maglio

M' = massa complessiva di testa di battuta, asta di guida del maglio, dispositivo di sgancio e colonna di aste

g = accelerazione di gravità

H = altezza di caduta del maglio

A = area della sezione trasversale della punta

e = penetrazione media per colpo (penetrazione di riferimento divisa per il n° di colpi: $e = 0.3/N_{30}$ per AGI; $e = 0.2/N_{20}$ per ISSMFE)

2.5.2.6 Documentazione

La documentazione di prova dovrà comprendere:

- procedura di riferimento
- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2.
- quota (assoluta o relativa) del p.c.;
- profondità della falda;
- numero della verticale di prova;
- tipo di attrezzatura impiegata: tipo di penetrometro, dimensioni e apertura della punta conica, diametro delle aste e loro peso al metro lineare, diametro ext. e int. del rivestimento (se utilizzato), peso della guida e della testa di battuta, massa del maglio e altezza di caduta;
- eventuale annotazione della coppia massima (Nm) richiesta per ruotare la batteria, se misurata
- foto del penetrometro installato sul punto di indagine
- penetrazione di riferimento (20 cm o 30 cm);
- tabulati (su supporto cartaceo e informatico) con tutte le misure eseguite e le grandezze calcolate, tra cui i dati di resistenza alla punta (N_{20} o N_{30}) e al rivestimento (se utilizzato), rilevati durante la prova;
- grafico della resistenza penetrometrica alla punta (N_{20} o N_{30}) e al rivestimento (se utilizzato) in funzione della profondità;
- grafico della resistenza alla penetrazione dinamica qd (MPa) in funzione della profondità;
- profondità e diametro dell'eventuale preforo;
- +schema dettagliato (profondità, diametro, rivestimento, fluido, ecc.) dell'eventuale preforo;
- ogni annotazione utile alla corretta interpretazione della prova.

2.5.3 PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA MECCANICA (CPT)

La prova penetrometrica statica con punta meccanica potrà essere eseguita solo in seguito ad approvazione da parte della Società, qualora risulti impossibile l'esecuzione della prova con punta elettrica.

2.5.3.1 Descrizione della prova

La prova consiste nel misurare la resistenza alla penetrazione di una punta conica metallica, di dimensioni e caratteristiche standard, infissa a velocità costante nel terreno tramite un dispositivo di spinta idraulico che agisce alternativamente su una batteria di aste esterna e una batteria di aste interne, alla cui estremità inferiore è collegata la punta.

La misura in superficie viene eseguita mediante una cella di carico elettrica oppure attraverso un gruppo di due manometri in serie.

2.5.3.2 Normative e specifiche di riferimento

- ASTM D 3441 - Standard Test Method for Deep, Quasi-Static, Cone and Friction-Cone Penetration Tests of Soil
- UNI EN 1997-2 (2007) - Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica. Parte 2. Indagini e prove nel sottosuolo [EN 1997-2 - Eurocode 7 - Geotechnical Design - Part 2: Ground investigation and Testing]
- ISO 22476-12:2009 - Geotechnical Investigation and Testing - Field Testing - Part 12: Mechanical CPT.

La prova dovrà essere conforme a quanto di seguito specificato.

2.5.3.3 Caratteristiche delle attrezzature

2.5.3.3.1 *Dispositivo di spinta*

E' costituito da un martinetto idraulico in grado di esercitare sulla duplice batteria di aste la spinta precisata nel progetto delle indagini (10 o 20 ton). La corsa deve essere pari ad almeno 1 m. La velocità di infissione della batteria di aste sarà costante nel corso della prova, indipendentemente dalla resistenza offerta dal terreno.

Il dispositivo di spinta dovrà essere allestito in maniera tale da garantire un contrasto idoneo in relazione alla spinta totale richiesta; ciò potrà avvenire attraverso il peso proprio del penetrometro, una zavorra o un opportuno sistema di ancoraggio a terra.

2.5.3.3.2 *Punta conica*

E' costituita da una punta conica telescopica, che possa essere, entro certi limiti, infissa indipendentemente della batteria di aste esterne cave, con le seguenti dimensioni:

- diametro di base del cono = 35.7 ± 0.4 mm
- angolo di apertura del cono = $60 \pm 5^\circ$

Dietro la punta è presente un manicotto d'attrito avente le seguenti dimensioni:

diametro esterno d_s compreso tra le seguenti tolleranze: $d_c \pm d_s \pm d_c + 0.5$ mm, con d_c = diametro

di base del cono

superficie laterale = $150 \text{ cm}^2 \pm 2\%$

Nessuna parte della punta penetrometrica potrà sporgere oltre il diametro del manicotto d'attrito.

2.5.3.3.3 La punta e manicotto permetteranno la misura della resistenza alla punta q_c e della resistenza per attrito laterale f_s .Aste

Sono costituite da aste esterne cave, del diametro esterno di 36 mm e da astine interne a sezione piena, di diametro inferiore di $0.5 \div 1 \text{ mm}$ rispetto a quello interno delle aste cave.

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

2.5.3.3.4 Dispositivo di misura

Può essere costituito da una cella di carico elettrica, oppure due manometri, di cui uno con fondo scala massimo da 10 MPa 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 misura dovrà essere inferiore ai seguenti requisiti minimi:

- 5% del valore misurato;
- 1% del fondo scala.

2.5.3.4 Calibrazioni e controlli

Occorre verificare che all'interno delle aste cave, quando collegate tra loro, non ci siano sporgenze in corrispondenza dell'estremità filettata.

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

2.5.3.5 Modalità esecutive

Il penetrometro statico dovrà essere posizionato perfettamente in piano attraverso stabilizzatori idraulici in modo da garantire la verticalità della applicazione del carico.

La prova dovrà essere eseguita facendo avanzare, ad una velocità costante di 2 cm/s ($\pm 0.5 \text{ cm/s}$), le aste interne fino ad esaurire l'intera corsa della punta (4 cm) e della punta + manicotto (altri 4 cm), misurando la pressione di spinta nel primo e nel secondo caso; si faranno quindi avanzare le aste cave, fino alla chiusura delle aste telescopiche (altri 12 cm), misurando ed annotando la pressione totale di spinta.

Le misure di resistenza alla punta q_c e resistenza per attrito laterale f_s saranno discontinue, con annotazione dei valori di resistenza ogni 20 cm di penetrazione.

La prova dovrà essere proseguita sino alla profondità massima specificata nel progetto delle indagini o fino a rifiuto, corrispondente al raggiungimento del limite di spinta nominale dell'attrezzatura conforme al progetto delle indagini (10 o 20 ton).

Al termine della prova, qualora sia esplicitamente richiesto, si proverà a misurare la profondità da p.c. del tratto di foro aperto e ispezionabile. Tale quota verrà riportata in una nota nella documentazione finale; in taluni casi tale valore potrà trovare riscontro approssimativo nella soggiacenza di falda freatica.

Durante la prova sarà scattata una foto a colori del penetrometro installato sul punto di indagine.

2.5.3.6 Documentazione

La documentazione di prova dovrà comprendere:

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2.
- profondità presunta o reale della falda;
- profondità e diametro dell'eventuale preforo;
- numero della verticale di prova;
- caratteristiche dell'attrezzatura;
- foto del penetrometro installato sul punto di indagine
- caratteristiche della punta e numero di serie;
- peso delle astine interne di spinta al metro lineare [kg/m];
- la profondità alla quale sono stati eventualmente utilizzati anelli allargatori;
- tabella di cantiere, completa dei coefficienti di trasformazione dai valori letti agli sforzi unitari prodotti, sia per la punta che per l'attrito laterale;
- tabulati (su supporto cartaceo e informatico) con tutte le misure eseguite e le grandezze calcolate;
- i grafici di q_c ed f_s , in funzione della profondità, nelle seguenti scale standard:
 - 1 cm = 1 m di profondità (in ordinate),
 - 1 cm = 2 MPa di resistenza alla punta q_c (in ascisse),
 - 1 cm = 50 kPa di resistenza per attrito laterale f_s (in ascisse),
- il grafico con i valori del rapporto di attrito R_f (f_s/q_c), espresso in %, in funzione della profondità;
- copia dei certificati di taratura della strumentazione (manometri o celle di carico) non anteriori di 6 mesi alla data di prova;
- eventuali note e osservazioni relative alla prova (v. livello di falda, profondità foro aperto a fine prova).

2.5.4 PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA (CPT-E)

2.5.4.1 Descrizione della prova

La prova consiste nel misurare la resistenza alla penetrazione di una punta conica metallica, di dimensioni e caratteristiche standard, infissa a velocità costante nel terreno tramite un dispositivo di spinta idraulico che agisce su una batteria di aste cave alla cui estremità inferiore è collegata la punta.

La punta è dotata di trasduttori interni e nelle aste cave è inserito un cavo elettrico di trasmissione dei segnali, che vengono raccolti ed elaborati in superficie da una centralina elettronica.

Non è ammesso l'utilizzo di punte elettriche senza cavo di trasmissione, anche se dotate di batteria o memoria interna, a meno che non sia stato espressamente e preventivamente autorizzato dalla Società.

Alla punta elettrica può eventualmente essere associato un modulo sismico costituito da uno o due sensori, per la generazione di onde di taglio durante l'esecuzione della prova penetrometrica. In tal caso, per tutto ciò che concerne l'esecuzione dell'indagine sismica si rimanda a quanto descritto nel capitolo corrispondente- .

2.5.4.2 Normative e specifiche di riferimento

- ISSMFE Technical Committee on Penetration Testing (1988) - Cone Penetration Test (CPT): International Reference Test Procedure
- UNI EN 1997-2 (2007) - Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica. Parte 2. Indagini e prove nel sottosuolo [EN 1997-2 - Eurocode 7 - Geotechnical Design - Part 2: Ground investigation and Testing]
- ISO 22476-1:2012 - Geotechnical Investigation and Testing - Field Testing - Part 1: Electrical cone and piezocone penetration test.
- ASTM D5778 - Test Method for Electronic Friction Cone and Piezocone Penetration Testing of Soils

La prova dovrà in ogni caso essere conforme a quanto di seguito specificato.

2.5.4.3 Caratteristiche delle attrezzature

2.5.4.3.1 Dispositivo di spinta

E' costituito da un martinetto idraulico in grado di esercitare sulla batteria di aste la spinta precisata nel progetto delle indagini (10 o 20 ton). La corsa minima dovrà essere di almeno 1 m e la velocità di infissione della batteria di aste dovrà essere costante nel corso della prova, indipendentemente dalla resistenza offerta dal terreno.

Il dispositivo di spinta dovrà essere allestito in maniera tale da garantire un contrasto idoneo in relazione alla spinta totale richiesta; ciò potrà avvenire attraverso il peso proprio del penetrometro, una zavorra o un opportuno sistema di ancoraggio a terra.

L'attrezzatura, posizionata in modo da fornire una spinta nella direzione verticale, potrà ammettere una deviazione dalla verticale non superiore al 2%, controllata con apposito sensore inclinometrico.

2.5.4.3.2 Punta conica

E' costituita da una punta conica fissa, interamente solidale con il movimento della batteria di aste cave, con le seguenti dimensioni (e le relative tolleranze):

- diametro di base del cono = 35.7 (34.8 ÷ 36.0) mm
- altezza della parte conica del cono = 30.9 (24.0 ÷ 31.2) mm
- altezza dell'estensione cilindrica \leq 5 mm
- angolo di apertura del cono = 60°

La punta permetterà la misura di:

- resistenza alla punta q_c
- resistenza per attrito laterale f_s

Il parametro f_s viene misurato attraverso l'attrito sviluppato da un manicotto liscio, posizionato subito sopra la punta conica, con superficie laterale di 150 cm² e diametro almeno uguale al diametro di base del cono e non superiore ad esso di 0.35 mm. La rugosità del manicotto di attrito nella direzione dell'asse longitudinale deve essere compresa tra 0.25 e 0.75 mm.

La punta elettrica dovrà essere strumentata con celle di carico estensimetriche per la misura di q_c ed f_s con i seguenti fondo scala:

- 5000 kg (corrispondenti a 50 MPa) per q_c
- 750 kg (corrispondenti a 500 kPa) per f_s

Qualora necessario la Società si riserva di richiedere l'uso di punte con fondo scala diverso: 1000 ÷ 2000 kg (q_c = 10 ÷ 20 MPa) per terreni teneri o poco addensati, 7000 ÷ 10000 kg (q_c = 70 ÷ 100 MPa) per terreni molto addensati o ghiaiosi.

La punta dovrà essere dotata di sensore inclinometrico per il controllo continuo e puntuale della deviazione dalla verticale.

2.5.4.3.3 Aste

Saranno costituite da aste di spinta cave, del diametro esterno di 36 mm.

Le aste di spinta devono essere dritte: la massima flessione (da una linea retta che congiunge le estremità di un'asta) nel punto centrale di un'asta di 1 m non deve superare 0.5 mm per le 5 aste di spinta inferiori e 1 mm per le rimanenti.

Eventuali riduttori di attrito (tipo anelli allargatori) dovranno essere posizionati ad almeno 100 cm dalla base del cono.

2.5.4.3.4 Dispositivo di misura

Oltre alle celle di carico estensimetriche della punta, saranno previsti:

- una centralina elettronica che alimenta i sensori installati sulla punta, ne riceve, amplifica e decodifica i segnali trasformandoli in unità ingegneristiche e li trasmette ad una unità di registrazione;
- un sistema per la visualizzazione ed eventualmente la stampa dei grafici di cantiere;
- generatore di impulsi (encoder) collegato meccanicamente al dispositivo di spinta, che fornisce

MSQX-MSD-Rev0

La sola edizione controllata del documento è quella diffusa attraverso la rete informatica.

Tutte le copie disponibili su carta o su qualsiasi altro supporto, escluso l'originale, non sono soggette a controllo e il loro stato di aggiornamento deve essere verificato prima dell'uso.

il parametro profondità, con una precisione non inferiore a 2 cm;

- sistema digitale per la registrazione dei dati, che ne permette una rielaborazione e una successiva restituzione; i dati devono essere memorizzati ogni 2 cm di penetrazione della punta.

La precisione di misura dovrà essere inferiore ai seguenti requisiti minimi:

5% del valore misurato;

1% del fondo scala.

2.5.4.4 Calibrazioni e controlli

La regolazione dei dispositivi di misura e registrazione dovrà avvenire dopo che i sensori della punta si siano equilibrati con la temperatura interna del terreno.

A fine prova (ad estrazione avvenuta), si dovrà controllare l'eventuale deriva dello zero iniziale.

2.5.4.5 Modalità esecutive

Il penetrometro statico dovrà essere posizionato perfettamente in piano attraverso stabilizzatori idraulici in modo da garantire la verticalità della applicazione del carico.

La velocità di penetrazione della punta dovrà essere di 2 cm/s (± 0.5 cm/s), costante nel corso della prova, indipendentemente dalla resistenza offerta dal terreno.

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

- raggiungimento del fondo scala per uno dei sensori relativi a resistenza qc e fs;
- raggiungimento della massima capacità di spinta del penetrometro, conforme a quanto richiesto nel progetto delle indagini (10 o 20 ton);
- deviazione della punta dalla verticale di 10°, se repentina, o di 15° se progressiva.

Al termine della prova, qualora sia esplicitamente richiesto, si proverà a misurare la profondità da p.c. del tratto di foro aperto e ispezionabile. Tale quota verrà riportata in una nota nella documentazione finale; in taluni casi tale valore potrà trovare riscontro approssimativo nella soggiacenza di falda freatica.

Durante la prova sarà scattata una foto a colori del penetrometro installato sul punto di indagine.

2.5.4.6 Documentazione

La documentazione della prova dovrà comprendere:

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2.
- profondità presunta o reale della falda;
- profondità e diametro dell'eventuale preforo
- numero o sigla identificativa della verticale di prova;
- caratteristiche dell'attrezzatura;
- foto del penetrometro installato sul punto di indagine

- caratteristiche della punta e numero di serie;
- la profondità alla quale sono stati eventualmente utilizzati anelli allargatori o aste di spinta di diametro ridotto;
- fotocopia dei grafici di cantiere, con indicazione delle scale;
- tabulati (su supporto cartaceo e informatico) con tutte le misure eseguite e le grandezze calcolate;
- i grafici di q_c e f_s , in funzione della profondità corretta in base ai dati inclinometrici, nelle scale standard:
 - 1 cm = 1 m di profondità (asse verticale)
 - 1 cm = 2 MPa di resistenza alla punta q_c (asse orizzontale)
 - 1 cm = 50 kPa di resistenza per attrito laterale f_s (asse orizzontale)
- il grafico con i valori del rapporto di attrito R_f (f_s/q_c), espresso in %, in funzione della profondità;
- angolo di inclinazione della punta rispetto alla verticale [°] e scostamento dalla verticale [m];
- copia del certificato di taratura della punta utilizzata per la prova non anteriore di più di 6 mesi alla data della prova;
- eventuali note e osservazioni relative alla prova.

2.5.5 PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PIEZOCONO (CPT-U) E PROVA DI DISSIPAZIONE

2.5.5.1 Descrizione della prova

La prova, eseguita con una attrezzatura per prove penetrometriche statiche nella quale la punta elettrica è dotata di un filtro poroso collegato ad un apposito trasduttore di pressione, consente di misurare in maniera continua, oltre alla resistenza alla penetrazione alla punta q_c e alla resistenza per attrito laterale f_s , anche la pressione dell'acqua interstiziale presente nel terreno durante la penetrazione.

Non è ammesso l'utilizzo di punte elettriche senza cavo di trasmissione, anche se dotate di batteria o memoria interna, a meno che non sia stato espressamente e preventivamente autorizzato dalla Società

A quote prefissate è possibile arrestare la penetrazione della punta ed eseguire una prova di dissipazione delle sovrappressioni nel tempo, finalizzata alla determinazione del valore della pressione idrostatica, nonché alla determinazione delle caratteristiche di compressibilità e di permeabilità del terreno.

La misura della U ha senso solo quando eseguita in terreni saturi, posti sotto la quota di falda. In caso contrario la prova assume tutte le caratteristiche di una prova CTP-E.

Al piezocono può eventualmente essere associato un modulo sismico costituito da uno o due sensori, per la generazione di onde di taglio durante l'esecuzione della prova penetrometrica. In tal caso, per tutto ciò che concerne l'esecuzione dell'indagine sismica si rimanda a quanto descritto nel capitolo corrispondente- .

2.5.5.2 Normative e specifiche di riferimento

- ISSMFE Technical Committee on Penetration Testing (1988) - Cone Penetration Test (CPT): International Reference Test Procedure
- UNI EN 1997-2 (2007) - Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica. Parte 2. Indagini e prove nel sottosuolo [EN 1997-2 - Eurocode 7 - Geotechnical Design - Part 2: Ground investigation and Testing]
- ISO 22476-1:2012 - Geotechnical Investigation and Testing - Field Testing - Part 1: Electrical cone and piezocone penetration test.
- ASTM D5778 - Test Method for Electronic Friction Cone and Piezocone Penetration Testing of Soils

La prova dovrà comunque essere conforme a quanto di seguito specificato.

2.5.5.3 Caratteristiche delle attrezzature

2.5.5.3.1 *Dispositivo di spinta*

E' costituito da un martinetto idraulico in grado di esercitare sulla duplice batteria di aste la spinta precisata nel progetto delle indagini (10 o 20 t). La corsa minima dovrà essere di almeno 1 m e la velocità di infissione della batteria di aste dovrà essere costante nel corso della prova, indipendente-mente dalla resistenza offerta dal terreno.

Il dispositivo di spinta dovrà essere allestito in maniera tale da garantire un contrasto idoneo in

relazione alla spinta totale richiesta; ciò potrà avvenire attraverso il peso proprio del penetrometro, una zavorra o un opportuno sistema di ancoraggio a terra.

L'attrezzatura, posizionata in modo da fornire una spinta nella direzione verticale, potrà ammettere una deviazione dalla verticale non superiore al 2%, controllata con apposito sensore inclinometrico.

2.5.5.3.2 Punta conica

E' costituita da una punta conica fissa, interamente solidale con il movimento della batteria di aste cave.

La punta dovrà essere normalmente munita di un filtro poroso intercambiabile, inserito nel componente cilindrico alla base del cono, che permetterà la misura della pressione interstiziale U.

La presenza di componenti filtranti in altre posizioni (nel cono, o alla sommità del manicotto di attrito) è ammessa preferibilmente in aggiunta al filtro precedentemente citato, e comunque dietro preventiva autorizzazione della Società.

Dietro autorizzazione della Società è ammesso l'uso di punta che, in sostituzione del filtro poroso, permetta la misura della pressione neutra attraverso una sottile fessura tra punta e manicotto; la comunicazione tra trasduttore di pressione interno e ambiente esterno avviene attraverso una camera saturata con lubrificante non dilavabile (grasso al litio o similare).

La geometria del cono deve avere le seguenti caratteristiche e dimensioni:

- diametro di base del cono = 35.7 mm
- angolo di apertura del cono = 60°
- altezza della parte conica del cono = 30.9 mm
- altezza h_e del componente cilindrico, incluso l'elemento filtrante: $7.0 \text{ mm} \leq h_e \leq 10 \text{ mm}$
- diametro d_u dell'elemento filtrante: $d_c < d_u < d_c + 0.2 \text{ mm}$, dove d_c = diametro della parte cilindrica del cono.

La punta permetterà la misura di:

- resistenza alla punta q_T (resistenza alla punta q_c corretta in funzione della pressione interstiziale U);
- resistenza per attrito laterale f_T (resistenza per attrito laterale f_s corretta in funzione della pressione interstiziale U);
- pressione interstiziale penetrometrica U (corrispondente alla somma della pressione idrostatica U_0 e della sovrappressione indotta DU).

La resistenza per attrito laterale viene misurata attraverso l'attrito sviluppato da un manicotto liscio, posizionato subito sopra la punta conica, con superficie laterale di 150 cm^2 e diametro almeno uguale al diametro di base del cono e non superiore ad esso di 0.35 mm. La rugosità del manicotto di attrito nella direzione dell'asse longitudinale deve essere compresa tra 0.25 e 0.75 mm.

La punta, che dovrà essere elettrica, dovrà essere strumentata con celle di carico estensimetriche per la misura di q_c ed f_s con i seguenti fondo scala:

- 5000 kg (corrispondenti a 50 MPa) per q_c
- 750 kg (corrispondenti a 500 kPa) per f_s

Qualora necessario la Società si riserva di richiedere l'uso di punte con fondo scala diverso: 1000 ÷ 2000 kg ($q_c = 10 \div 20$ MPa) per terreni teneri o poco addensati, 7000 ÷ 10000 kg ($q_c = 70 \div 100$ MPa) per terreni molto addensati o ghiaiosi.

La punta dovrà essere dotata di sensore inclinometrico per il controllo continuo e puntuale della deviazione dalla verticale

Il trasduttore di pressione dovrà avere un range tipico di acquisizione compreso tra 0 e 2 MPa.

La pressione dei pori u verrà normalmente rilevata in corrispondenza dell'elemento filtrante o fessura posta dietro la punta conica. In tal caso tale misura verrà identificata con u_2 (per distinguerla da misure eseguite con il setto poroso posto in altre posizioni, per. es. nel cono (u_1) o alla sommità del manicotto di attrito (u_3)).

In tal caso in fase di elaborazione dei risultati potrà rendersi necessario tenere conto dell'effetto delle 'aree diseguali', dipendente dalla geometria della punta. La resistenza alla punta corretta q_T sarà pertanto data da :

$$q_T = q_c + u_2 (1-a)$$

in cui a è un parametro fornito dal costruttore della punta, che rappresenta il rapporto tra la sez. della cella di carico A_n e la sezione proiettata dal cono A_c

2.5.5.3.3 Aste

Saranno costituite da aste di spinta cave, del diametro esterno di 36 mm.

Le aste di spinta devono essere dritte: la massima flessione (da una linea retta che congiunge le estremità di un'asta) nel punto centrale di un'asta di 1 m non deve superare 0.5 mm per le 5 aste di spinta inferiori e 1 mm per le rimanenti.

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

La dotazione dovrà includere anche una batteria di aste normali corta (6 ÷ 8 m) ed una puntazza conica del diametro di 50 mm, per eseguire eventuali prefori.

2.5.5.3.4 Dispositivo di misura

Oltre alle celle di carico estensimetriche della punta, saranno previsti:

- una centralina elettronica che alimenta i sensori installati sulla punta, ne riceve, amplifica e decodifica i segnali trasformandoli in unità ingegneristiche e li trasmette ad una unità di registrazione;
- un sistema per la visualizzazione ed eventualmente la stampa dei grafici di cantiere;
- generatore di impulsi (encoder) collegato meccanicamente al dispositivo di spinta, che fornisce il parametro profondità, con una precisione non inferiore a 2 cm;
- sistema digitale per la registrazione dei dati, che ne permette una rielaborazione e una successiva restituzione; i dati devono essere memorizzati ogni 2 cm di penetrazione della punta;
- sistema digitale per la registrazione della variazione della pressione interstiziale nel tempo nel corso delle prove di dissipazione; la scelta della sequenza temporale di misura devono poter essere adattabili alle più disparate velocità di dissipazione;
- visore per la lettura istantanea delle grandezze misurate, in forma digitale.

- La precisione di misura non dovrà essere inferiore ai seguenti requisiti minimi:
- 5% del valore misurato;
- 1% del fondo scala.

2.5.5.3.5 Dispositivi accessori e di saturazione del filtro poroso

Saranno previsti:

- asta graduata e sonda freaticometrica;
- recipienti per eventuale immersione del filtro e del cono in acqua distillata deaerata;
- olio siliconico deaerato e imbuto di saturazione, oppure glicerina o lubrificante non dilavabile e siringa ipodermica;
- eventuale pompa a vuoto provvista di tubi e manicotti di giunzione.

2.5.5.4 Calibrazioni e controlli

Oltre ai sistematici controlli circa lo stato della punta e del manicotto (geometria, rugosità) e delle aste cave (le aste, specie le 5 più vicine alla punta, devono essere rettilinee), le guarnizioni tra i diversi elementi di un piezocono dovranno essere ispezionate con regolarità per accertarne le perfette condizioni e l'assenza di particelle di terreno.

2.5.5.5 Operazioni preliminari

2.5.5.5.1 Disaerazione del filtro poroso e del cono

Filtro poroso e cono dovranno essere perfettamente disaerati con l'uso della sottoelencata metodologia:

- disaerazione per bollitura, con immersione di filtro e cono per un periodo di tempo sufficiente, in funzione del tipo di filtro;
- immersione in acqua distillata in una cella di disaerazione sottovuoto per circa 3 ore;
- immersione del filtro poroso in glicerina calda in un contenitore sottovuoto ad ultrasuoni, combinando gli effetti del pompaggio sottovuoto e della vibrazione ad ultrasuoni; il cono invece potrà essere disaerato tramite iniezione di glicerina con siringa ipodermica.

Alternativamente la disaerazione potrà essere eseguita utilizzando olio siliconico. In tal caso si procederà come segue:

- asciugatura in forno dei filtri, all'aria;
- inserimento dei filtri in olio siliconico in un contenitore sottoposto a vuoto spinto per circa 2 ore;
- mantenimento degli stessi filtri in un contenitore ermetico pieno di olio disaerato, fino al loro impiego in sito.

Altre attrezzature, tipi di fluido e tecniche potranno essere proposti dall'Impresa, subordinandone l'utilizzo a preventiva autorizzazione da parte della Società.

2.5.5.5.2 Montaggio del piezocono

Il montaggio dei filtri, delle guarnizioni e del cono avverrà in sito, in ambiente saturo.

Per saturazione effettuata tramite acqua e glicerina, i componenti saranno assemblati e inseriti in un contenitore in gomma pieno di acqua disaerata, operando rigorosamente in immersione; il guanto di gomma non sarà rimosso all'inizio della prova, in quanto sarà l'attrito con il terreno a provvedere alla sua rottura ed asportazione.

Qualora si sia utilizzato un sistema di saturazione ad olio siliconico l'assemblaggio avverrà previa immersione di tutti i componenti (punta compresa, con i filetti di giunzione del cono rivolti verso l'alto) in un apposito recipiente a imbuto, saturo di olio, chiudibile ermeticamente. All'occorrenza, e comunque quando richiesto, prima del montaggio si sottoporrà tale recipiente e tutti i componenti ivi contenuti a vuoto spinto per 20 minuti. Una volta completato l'assemblaggio il passaggio dal recipiente alla verticale di prova avverrà previo inserimento di una protezione in gomma o in lattice aderente alla punta.

Qualora si utilizzi una punta sprovvista di filtro poroso, dovrà essere posta particolare cura nella saturazione della camera con il lubrificante non dilavabile, attraverso l'apposita siringa, e il successivo avvvitamento e serraggio del cono. Tutte le operazioni dovranno avvenire impedendo qualunque formazione di cavità o bolle d'aria.

2.5.5.5.3 *Stabilizzazione termica*

Prima di iniziare la prova, quando necessario (anche in relazione alla differenti condizioni climatiche aria/terreno), la punta dovrà essere inserita nel terreno, e lasciata ferma per alcuni minuti (fino a 10') per ottenere la stabilizzazione termica, ripetendo alla fine gli azzeramenti dei dispositivi di misura e registrazione. Qualora la falda non sia superficiale e la prova inizi nella porzione di terreno non saturo può essere preferibile approfondire subito la punta, per evitare l'insorgere di problemi di saturazione.

Al termine della prova dovranno essere misurate e registrate eventuali derive di zero dei dispositivi; tali annotazioni finali dovranno far parte integrante della documentazione provvisoria e definitiva della prova.

2.5.5.6 Modalità esecutive

Il penetrometro statico dovrà essere posizionato perfettamente in piano attraverso stabilizzatori idraulici in modo da garantire la verticalità della applicazione del carico.

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

La velocità di penetrazione della punta dovrà essere di 2 cm/s (± 0.5 cm/s), costante nel corso della prova, indipendentemente dalla resistenza offerta dal terreno.

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

- raggiungimento del fondo scala per uno dei sensori relativi a resistenza q_c e f_s o pressione interstiziale;
- raggiungimento della massima capacità di spinta del penetrometro, conforme a quanto richiesto nel progetto delle indagini (10 o 20 ton);
- deviazione della punta dalla verticale di 10° , se repentina, o di 15° se progressiva.

Nel caso di rifiuto potrà essere richiesta la ripresa della prova dopo preforo a quota maggiore di 1 m rispetto a quella della interruzione della prova.

Al termine della prova, qualora sia esplicitamente richiesto, si proverà a misurare la profondità da MSQX-MSD-Rev0

La sola edizione controllata del documento è quella diffusa attraverso la rete informatica.

Tutte le copie disponibili su carta o su qualsiasi altro supporto, escluso l'originale, non sono soggette a controllo e il loro stato di aggiornamento deve essere verificato prima dell'uso.

p.c. del tratto di foro aperto e ispezionabile. Tale quota verrà riportata in una nota nella documentazione finale; in taluni casi tale valore potrà trovare riscontro approssimativo nella soggiacenza di falda freatica.

Durante la prova sarà scattata una foto a colori del penetrometro installato sul punto di indagine.

2.5.5.7 Esecuzione di Prove di dissipazione durante la penetrazione

Se si arresta la penetrazione del piezocono nel terreno, la pressione dei pori in eccesso dovuta alla penetrazione inizia a dissipare per ricostituire l'equilibrio. La velocità di dissipazione dipende dal coefficiente di consolidazione che, a sua volta, è funzione della compressibilità e della permeabilità del terreno.

Le prove di dissipazione dovranno essere eseguite alle quote indicate dal progetto delle indagini o dalla Direzioni Lavori, operando come di seguito specificato:

- arresto della penetrazione della punta;
- sollevamento della testa di spinta in modo che la batteria agisca solo per il proprio peso;
- bloccaggio della batteria mediante freno o morsa in modo che anche il peso delle batterie non agisca sulla punta;
- scatto contemporaneo dei contasecondi e inizio della registrazione della variazione di pressione interstiziale;
- lettura al visore digitale dell'andamento della pressione interstiziale in progressione geometrica, ai tempi di 0.1 - 0.25 - 0.5 - 1 - 2 - 4 - 8 - 15 - 30 – ... minuti primi; la lettura sarà registrata manualmente su un grafico con i tempi in scala logaritmica.

La prova sarà considerata conclusa una volta dissipato almeno il 60% della sovrappressione indotta dalla penetrazione della punta. Il calcolo dovrà effettuarsi avendo un'idea della pressione piezometrica iniziale U_0 nel terreno alla profondità di prova. Tale indicazione potrà aversi conoscendo la quota di falda o osservando il profilo delle U durante la prova penetrometrica eseguita fino a quella profondità.

2.5.5.8 Documentazione

La documentazione della prova dovrà comprendere:

per le prove CPTU

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2;
- profondità presunta o reale della falda;
- profondità e diametro dell'eventuale preforo;
- numero della verticale di prova;
- caratteristiche dell'attrezzatura;
- foto del penetrometro installato sul punto di indagine;
- caratteristiche del piezocono e numero di serie;
- valore del fattore delle aree del cono $a = A_N / A_C$, dove A_N = area netta del cono e A_C = area di base del cono;
- la profondità alla quale sono stati eventualmente utilizzati anelli allargatori o aste di spinta di diametro ridotto;
- fotocopia dei grafici di cantiere, con indicazione delle scale;

- tabulati (su supporto cartaceo e informatico) con tutte le misure eseguite e le grandezze calcolate;
- i grafici di q_T [$=q_c + u_2(1-a)$] (o q_c , qualora sia esplicitamente richiesto) f_s e U , in funzione della profondità (se necessario corretta in base ai dati inclinometrici e alle eventuali derive), nelle scale standard:
 - 1 cm = 1 m di profondità (asse verticale)
 - 1 cm = 2 MPa di resistenza alla punta corretta q_T (asse orizzontale)
 - 1 cm = 50 kPa di resistenza per attrito laterale corretta f_T (asse orizzontale)
- il grafico con i valori del rapporto di attrito R_f (f_T/q_T), espresso in %, in funzione della profondità;
- angolo di inclinazione della punta rispetto alla verticale [°] e scostamento dalla verticale [m]
- copia del certificato di taratura del piezocono utilizzato per la prova non anteriore di più di 6 mesi alla data della prova;
- eventuali note e osservazioni relative alla prova (es. profondità foro aperto a fine prova).

Per le prove di dissipazione

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2;
- ogni riferimento alla prova specifica prova CPTU in corso;
- profondità di prova;
- valore stimato della pressione U_0 ;
- tabulati (su supporto cartaceo e informatico) con tutte le misure eseguite e le grandezze calcolate;
- grafici relativi alle prove di dissipazione con i tempi in ascissa in scala logaritmica, in ordinata la variazione delle pressioni U di dissipazione;
- eventuali note e osservazioni relative alla prova (es. profondità foro aperto a fine prova).

2.5.6 PROVA CON DILATOMETRO PIATTO TIPO MARCHETTI (DMT)

2.5.6.1 Descrizione della prova

La prova consiste nell'infiggere verticalmente nel terreno, mediante spinta di tipo statico, una lama d'acciaio di dimensioni e caratteristiche note e nel far espandere con del gas in pressione una membrana circolare situata su di un lato della lama misurando le pressioni corrispondenti a due livelli di deformazione prestabiliti della membrana.

Alla lama d'acciaio sopra descritta può eventualmente essere associato un modulo sismico costituito da uno o due sensori, per la generazione di onde di taglio durante l'esecuzione della prova DMT. In tal caso, per tutto ciò che concerne specificatamente l'esecuzione dell'indagine sismica si rimanda a quanto descritto nel capitolo - ..

2.5.6.2 Normative e specifiche di riferimento

- ASTM D 6635 - Standard Test Method for the Flat Plate Dilatometer Test
- UNI EN 1997-2 (2007) - Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica. Parte 2. Indagini e prove nel sottosuolo [EN 1997-2 - Eurocode 7 - Geotechnical Design - Part 2: Ground investigation and Testing]
- ISO 22476-5:2012 - Geotechnical Investigation and Testing - Field Testing - Part 5: Flexible Dilatometer Test.

La prova dovrà essere conforme a quanto di seguito specificato.

2.5.6.3 Caratteristiche delle attrezzature

2.5.6.3.1 *Dispositivo di spinta e aste*

Il dispositivo di spinta può essere costituito da un penetrometro statico da 10 ÷ 20 t di spinta effettiva oppure da una attrezzatura di sondaggio.

Le aste collegano la lama del dilatometro al dispositivo di spinta e contengono al loro interno il cavo elettropneumatico che connette la centralina di misura alla lama.

Quando per l'infissione si utilizza il penetrometro statico, le aste, del diametro esterno di 36 mm, sono le stesse usate per le prove CPT.

Nel caso in cui il dispositivo di spinta sia costituito da una sonda a rotazione (ma solo se si opera in un preforo o in foro di sondaggio), i primi metri delle aste di prova (quelli collegati alla lama e infissi nel terreno) dovranno essere del diametro esterno di 36 mm, mentre le aste rimanenti (all'interno del preforo) potranno avere diametro superiore (50 mm o aste di perforazione). Il cavo elettrico di collegamento dello strumento con la superficie potrà uscire in corrispondenza del raccordo tra aste Ø_{est} 36 mm e quelle di diametro superiore, tramite apposito giunto spaccato longitudinalmente, per essere fissato all'esterno delle aste con del nastro adesivo.

2.5.6.3.2 *Attrezzatura originale Marchetti*

E' costituita da:

- dilatometro DMT tipo Marchetti, costituito da una lama di larghezza 95 mm, lunghezza 200 mm e spessore 14 mm; l'angolo di rastremazione della lama nel tratto terminale (lungo 50 mm) è

compreso tra 24° e 32°; la superficie laterale è pari a 13.3 cm². Il bordo inferiore della lama è sagomato e tagliente; la lama è dotata su un lato di una membrana circolare di acciaio, dello spessore di 0.2 mm, espandibile al centro;

- unità di controllo e misura tipo Marchetti;
- cavo elettropneumatico di collegamento del dilatometro con la centralina
- sorgente di pressione, costituita da una bombola di azoto, provvista di apposite valvole, regolatore e cavi di collegamento alla centralina;
- cavo per la messa a terra della centralina.

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

2.5.6.4 Calibrazioni e controlli

La lama di prova deve essere dritta, senza concavità o convessità: lo spostamento fuori piano massimo della lama, definito come gioco massimo al di sotto di un bordo dritto di 150 mm di lunghezza lungo la lama parallelamente al suo asse, non deve eccedere 0.5 mm.. La deviazione del bordo di penetrazione della lama dall'asse delle aste di spinta alle quali la lama è collegata, non deve essere superiore a 1.5 mm. Il tagliente deve essere dritto e appuntito.

La membrana deve essere liscia e regolare; il metallo che la costituisce non deve essere snervato.

Devono essere controllate perdite nel sistema. Eventuali cadute di pressione dell'unità di controllo (otturando l'estremità del cavo elettro-pneumatico), o dell'intero sistema (una volta collegata la lama ai tubi di adduzione del gas, alla centralina ed alle bombole), non devono eccedere 100 kPa/min.

Avvalendosi del dispositivo di taratura, costituito da una siringa di alimentazione/estrazione d'aria collegata all'unità di misura, si determinano i valori di "A" e di "B", laddove:

- "A" rappresenta la lettura al manometro della pressione di gas necessaria per superare la rigidità della membrana e muoverla fino a un valore (dal centro membrana) pari a 0.05 mm;
- "B" rappresenta la lettura al manometro della pressione di gas necessaria per superare la rigidità della membrana e muoverla fino a un valore (dal centro membrana) pari a 1.1 mm

La lettura di detti valori avviene per segnale audiovisivo all'unità di controllo: il segnale deve interrompersi inequivocabilmente ad una dilatazione di 0.05 mm, e deve ritornare dopo 1.1 mm di dilatazione. Si deve sostituire ogni membrana che non corrisponde a tale verifica.

La calibrazione della membrana dovrà essere eseguita nuovamente al termine di ogni prova.

Ogni membrana nuova dovrà essere esercitata prima di essere impiegate in prove reali, al fine di stabilizzare il valore di B. Ciò avverrà sottoponendo la membrana a 20 cicli di carico e scarico con pressioni comprese entro i limiti indicati dal costruttore.

2.5.6.5 Modalità esecutive

La prova dovrà essere 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.

All'inizio della prova si avrà cura di monitorare e prendere nota della direzione della lama rispetto al nord magnetico terrestre.

Durante l'infissione il segnale audiovisivo sarà sempre attivato, ad indicare che il terreno preme contro la membrana mantenendola in contatto con il suo supporto; la valvola di sfiato dovrà essere aperta.

La velocità di infissione in sabbie potrà variare tra 10 e 100 mm/s; in terreni coesivi è consigliabile adottare una velocità inferiore, compresa tra 10 e 30 mm/s.

Raggiunta la quota di prova ed arrestata l'infissione, entro 15 secondi si scaricano le aste da ogni pressione, si chiude la valvola di sfiato e si invia gas alla membrana misurando e memorizzando le seguenti grandezze tramite l'unità di controllo di superficie:

- la pressione manometrica "A" alla quale si disattiva il segnale audiovisivo, da rilevarsi entro 20 secondi dalla immissione del gas, e corrispondente alla pressione alla quale la membrana inizia ad espandersi contro il terreno;
- la pressione manometrica "B" alla quale si riattiva il segnale audiovisivo, da rilevarsi entro 20 secondi dalla precedente lettura di A, e corrispondente alla pressione necessaria per espandere il centro della membrana del valore prefissato.

Si chiude quindi la valvola di mandata e si apre quella di sfiato, scaricando il circuito. Il segnale audio dovrebbe riattivarsi durante lo sfiato; in ogni caso deve riattivarsi durante l'infissione della lama alla profondità di prova successiva. Qualora ciò non avvenga è necessario estrarre la batteria per la verifica dello stato dell'attrezzatura.

In presenza di ghiaie o terreni cementati oppure quando lo sforzo di spinta supera valori considerati di sicurezza, la prova deve essere interrotta e si deve procedere, con apposita attrezzatura a rotazione, all'esecuzione di un preforo del diametro nominale di almeno 100 mm. Si riprende quindi l'infissione del dilatometro dal fondo del preforo.

Dopo avere completato il set di prove alle varie profondità previste, ed estratto la batteria in superficie, si controlla che lama e membrana siano in buone condizioni; si ripete la taratura rilevando i valori di A e B, annotandoli e confrontandoli con quelli iniziali. Se i valori differiscono di oltre 25 kPa da quelli iniziali si deve scartare la prova, procedere alla riparazione o sostituzione della membrana e ripetere la verticale.

2.5.6.6 Documentazione

La documentazione dovrà comprendere:

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2.
- numero della verticale di prova;
- quota assoluta o relativa di p.c.;
- profondità della falda;
- caratteristiche del dispositivo di spinta;
- eventuale profondità del preforo e dei sistemi per sostenere il foro (rivestimento, fluidi, ecc.);
- diametro e ubicazione degli eventuali anelli allargatori;
- direzione della lama rispetto al nord magnetico;
- tabella con le letture di cantiere;
- elaborazione delle letture, in conformità ai criteri del costruttore, e rappresentazione dei risultati in termini di: indice di materiale I_D , modulo dilatometrico E_D , indice delle tensioni laterali K_D ;

- certificato di taratura della centralina di misura non anteriore di più di 6 mesi alla data della prova;
- eventuali osservazioni e note relative alla prova.

2.5.7 PROVA PENETROMETRICA DINAMICA PER PAVIMENTAZIONI E STRATI SUPERFICIALI (DCP)

2.5.7.1 Descrizione della prova

E' una prova di rapida esecuzione finalizzata alla determinazione delle caratteristiche meccaniche degli strati che compongono il manto stradale o gli strati di sottofondazione, tramite restituzione di un indice (DPI) che può essere messo in correlazione con l'indice CBR.

2.5.7.2 Normative e specifiche di riferimento

- ASTM D 6951 - Standard Test Method for Use of the Dynamic Cone Penetrometer in Shallow Pavement Applications.

La prova dovrà essere conforme a quanto di seguito specificato.

2.5.7.3 Caratteristiche delle attrezzature

- Maglio in acciaio del peso di 8 kg, (o 4,6 kg, quando autorizzato),
- Incudine,
- asta di guida e nottolino di fine corsa per volata del maglio da 575 mm di altezza,
- Asta in acciaio diametro 16 mm, di lunghezza utile per infissione fino a 1000 mm dalla base di inizio prova,
- Eventuali aste di prolunga per giungere fino a 2 m di profondità, qualora necessario;
- punta filettata (a perdere o a recupero) in acciaio temperato, di diametro di base pari a 20 ($\pm 0,2$) mm e angolo d'apertura 60°,
- riga graduata di riferimento rigida (graduazione in mm) di lunghezza non inferiore a 1000 mm, con relativa piastra di supporto per il mantenimento dell'asta nella posizione corretta nel corso della prova.

Dietro autorizzazione e/o dietro richiesta della Società si potrà operare con maglio da 4.6 kg. Ciò potrà avvenire laddove il terreno oggetto di prova mostri caratteristiche tali da avere un CBR equivalente pari o inferiore al 10%.

2.5.7.4 Modalità esecutive

La prova dovrà essere eseguita da due operatori affiancati; uno per l'esecuzione della prova, e uno per la registrazione delle misure (abbassamenti) tramite la scala graduata. Il secondo operatore potrà coadiuvare il primo operatore per il mantenimento della struttura in posizione verticale, particolarmente nelle fasi iniziali di prova.

Dopo aver assemblato, fissato e controllato tutte le parti costituenti l'attrezzatura, e averla posizionata correttamente, verrà segnata la corrispondente lettura di zero sulla scala graduata; in particolare, in terreni teneri, laddove per il solo peso proprio del maglio l'attrezzatura tenda a penetrare nel suolo, la lettura di zero – inizio prova, sarà difforme dallo zero inciso sulla medesima asta. Ogni registrazione dovrà avvenire con precisione millimetrica.

La prova verrà eseguita sollevando ripetutamente il maglio da 8 kg (o 4,6 kg laddove autorizzati) fino al nottolino di fine corsa, e lasciandolo cadere per peso proprio da 575 mm di altezza. Durante ogni fase di risalita si avrà cura di non produrre sollecitazioni urtando il maglio contro il nottolino di fine corsa; durante ogni fase di caduta il maglio non dovrà essere spinto o accompagnato dalle mani dell'operatore. In tutte le fasi di prova l'attrezzatura dovrà essere mantenuta in posizione verticale.

Durante la prova si dovranno misurare sull'asta graduata gli abbassamenti in mm corrispondenti alla penetrazione del cono nel terreno.

E' richiesta una penetrazione minima del cono pari ad almeno 10 mm tra due misurazioni successive. Pertanto le misurazioni non dovranno avvenire necessariamente ad ogni battuta, ma piuttosto ad ogni set di colpi prefissato, che varierà generalmente tra i seguenti valori: 1, 2, 3, 5, 10, 20 in relazione alla resistenza offerta dal terreno e alla velocità di penetrazione del cono.

Indicativamente un set pari a 1 o 3 colpi è da ritenersi idoneo per materiali 'teneri'; 5 colpi per materiali 'medi', 10 colpi per materiali 'duri'. Laddove si osservi una variazione improvvisa della resistenza del terreno (in particolare con un aumento repentino di penetrazione), gli operatori dovranno tenerne conto; potranno quindi variare opportunamente in corso d'opera il numero di colpi costituenti il set di misura della i-esima penetrazione.

Completato ogni set di misura il primo operatore dovrà fermare temporaneamente le operazioni di sollevamento/caduta del maglio per permettere al secondo operatore di leggere e registrare la profondità cumulata di penetrazione della punta.

Salvo diversa indicazione della Società, la prova proseguirà fino a quando sarà raggiunta una penetrazione complessiva di 900 mm da inizio prova. In alcune situazioni, se richiesto, potrà essere necessario prolungare la prova fino a una profondità massima di 2 m, utilizzando le aste di prolunga.

La prova potrà essere sospesa per rifiuto quando dopo 5 colpi l'apparecchiatura non sia penetrata nel terreno per più di 2 mm, o quando l'attrezzatura abbia subito una deflessione dalla verticale per più di 75 mm. In caso di rifiuto e sospensione della prova, una eventuale successiva nuova prova potrà essere eseguita ad almeno 30 cm di distanza dal punto precedente.

Una volta completata la prova, l'estrazione di tutta l'attrezzatura dal terreno avverrà per battitura verso l'alto del maglio contro il nottolino di fine corsa.

Prima del successivo ed eventuale riutilizzo su una nuova verticale l'attrezzatura dovrà essere verificata: la punta conica, se recuperata, non dovrà risultare deformata, mantenendo un diametro alla base compreso tra 19,8 e 20,3 mm. Si verificherà inoltre l'assenza di deformazioni o di eventuali deflessioni per l'asta in acciaio e di guida.

La prova DCP potrà essere condotta in superficie, a fondo scavo o a fondo foro (generalmente entro 1-2 m di profondità). In quest'ultimo caso il foro dovrà essere realizzato con diametro minimo pari a 25 mm; il foro dovrà essere libero da materiale che possa sviluppare attriti lungo il bordo dell'asta in acciaio.

2.5.7.5 Risultati e calcoli

I risultati della prova DCP su una verticale di indagine saranno riportati in un tabulato contenente, su ogni riga:

- A. numero di colpi per ogni set,
- B. profondità cumulata per ogni set (mm), da inizio prova

- C. profondità cumulata per ogni set (mm), da piano campagna
- D. penetrazione (mm) relativa ad ogni set di n colpi
- E. penetrazione per singolo colpo (mm) = D / A
- F. fattore moltiplicativo del maglio, pari a 1 per maglio da 8kg, e pari a 2 per maglio da 4,6 kg
- G. indice DCP (mm/n colpi) , pari a $E \times F$
- H. indice CBR equivalente (%), ottenibile dall'indice DCP tramite le seguenti relazioni, definite dall'US Army Corps of Engineers (ASTM 6951):

$CBR = 292/DCP^{1,12}$ per tutti i terreni, tranne quelli classificati come CL e aventi $CBR > 10\%$, e tranne i terreni classificati come CH

$CBR = 1/(0,017019 DCP)^2$ per i terreni classificati come CL e aventi $CBR < 10$

$CBR = 1/0,002871 DCP$ per i terreni classificati come CH

L'uso delle formule suddette ai fini della determinazione del CBR presuppone la definizione delle classi granulometriche di appartenenza del terreno (o dei terreni, se trattasi di strati sovrapposti con caratteristiche differenti) ai sensi del sistema di classificazione USCS, da effettuarsi previo prelievo di campioni e prove di laboratorio dedicate.

Più genericamente, in assenza di tali determinazioni, l'assegnazione dell'indice CBR equivalente avverrà in accordo alla tabella seguente (da ASTM 6951), rispondente alla prima delle 3 formule di cui sopra.

DCP Index mm/blow	CBR %	DCP Index mm/blow	CBR %	DCP Index mm/blow	CBR %
<3	100	39	4.8	69-71	2.5
3	80	40	4.7	72-74	2.4
4	60	41	4.6	75-77	2.3
5	50	42	4.4	78-80	2.2
6	40	43	4.3	81-83	2.1
7	35	44	4.2	84-87	2.0
8	30	45	4.1	88-91	1.9
9	25	46	4.0	92-96	1.8
10-11	20	47	3.9	97-101	1.7
12	18	48	3.8	102-107	1.6
13	16	49-50	3.7	108-114	1.5
14	15	51	3.6	115-121	1.4
15	14	52	3.5	122-130	1.3
16	13	53-54	3.4	131-140	1.2
17	12	55	3.3	141-152	1.1
18-19	11	56-57	3.2	153-166	1.0
20-21	10	58	3.1	166-183	0.9
22-23	9	59-60	3.0	184-205	0.8
24-26	8	61-62	2.9	206-233	0.7
27-29	7	63-64	2.8	234-271	0.6
30-34	6	65-66	2.7	272-324	0.5
35-38	5	67-68	2.6	>324	<0.5

In linea di principio, in accordo alle indicazioni della Società, ogni realizzazione di prova DCP avverrà unitamente alla realizzazione di uno scavo o pozzetto esplorativo, con prelievo di campioni rimaneggiati e successive determinazioni di laboratorio.

Oltre alla tabella delle risultanze di prova dovrà essere restituito, per ogni prova completa, un grafico semilogaritmico in scala opportuna, riportante in ordinata le profondità assolute di prova (da p.c.), e in ascissa l'indice CBR calcolato per ogni set di prova.

Durante ogni prova DCP si realizzerà una foto a colori della strumentazione installata sul sito di prova, da restituire con la documentazione di prova.

2.5.7.6 Documentazione

La documentazione di prova dovrà comprendere:

- informazioni generali;
- documentazione fotografica
- tabulato con tutte le letture e interpretazioni DCP e CBR;
- grafico semilogaritmico con indicazione dell'indice CBR per intervalli di profondità;
- eventuale classificazione USCS del terreno, se nota, e formulazione usata per il calcolo dell'indice CBR.

2.6 INDAGINI E PROVE NEI POZZETTI ESPLORATIVI

2.6.1 POZZETTO ESPLORATIVO

2.6.1.1 Generalità

Lo scavo di un pozzetto esplorativo consente di verificare in dettaglio la stratigrafia degli strati più superficiali, il livello della falda freatica, lo spessore del terreno vegetale e inoltre consente di prelevare campioni rimaneggiati di terreno e, in presenza di terreni coesivi, campioni indisturbati cubici di ottima qualità, per l'esecuzione di prove di laboratorio.

La profondità massima di scavo è limitata a quella raggiungibile con gli escavatori normalmente in uso (4 m); tuttavia in presenza di falda, potrà essere anche minore, per problemi di sicurezza.

2.6.1.2 Caratteristiche delle attrezzature

L'attrezzatura consisterà di un escavatore a braccio rovescio in grado di raggiungere la profondità stabilita dal progetto delle indagini (max. 4 m). Il volume della benna dovrà essere compreso tra 0.3 e 0.8 m³.

Oltre all'escavatore l'attrezzatura dovrà comprendere normali attrezzi di scavo.

2.6.1.3 Modalità esecutive

Lo scavo avrà forma e dimensioni variabili in relazione alle esigenze progettuali, da concordare con la Società. Le massime dimensioni orientative saranno pari a 2 x 2 m.

Lo scavo dovrà essere spinto alla profondità indicata dal progetto delle indagini.

Il materiale scavato dovrà essere ammassato a distanza di sicurezza dal ciglio dello scavo. Qualora necessario, e quando richiesto, saranno mantenuti separati, per quanto possibile, i diversi strati presenti.

Qualora sia prevista l'ispezione interna dello scavo, dovrà avvenire in assoluta sicurezza per l'operatore: le pareti dovranno essere profilate con una pendenza tale da garantire la stabilità dello scavo; viceversa, in presenza di pareti pseudo-verticali, per profondità superiori a 1.5 m, si dovranno inserire casseri autofondanti di protezione e sostegno delle pareti per tutta la durata dell'ispezione (in accordo alle prescrizioni normative, v. D.L. 81/2008 e smi).

In caso di livello piezometrico prossimo a piano campagna, lo scavo verrà interrotto al raggiungimento della falda.

La realizzazione 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 geotecnica dei singoli strati attraversati, secondo quanto riportato nei capitoli relativi al rilievo stratigrafico del sondaggio geotecnico, adattandolo alla descrizione della parete dello scavo.

In presenza di terreni coesivi, la descrizione dei terreni dovrà essere integrata da misure sistematiche (ad intervalli di profondità di 20 - 50 cm) della penetrazione e della resistenza al taglio in sito, utilizzando il penetrometro e lo scissometro tascabili.

La stratigrafia del pozzetto sarà riportata in un apposito modulo stratigrafico, completo di tutte le misurazioni e prove effettuate in parete o a fondo foro, nonché delle indicazioni relative ai campioni

prelevati (tipo e quota di prelievo).

Una volta ultimato lo scavo si realizzerà una foto a colori di una parete del pozzetto dalla superficie, con tanto di metro a nastro steso verticalmente per apprezzarne la profondità effettiva. Altra foto a colori sarà eseguita inquadrando l'escavatore installato sul punto di indagine, durante le operazioni di scavo.

Ad ispezione conclusa, il pozzetto dovrà essere ritombato utilizzando lo stesso materiale di scavo, costipandolo con la benna dell'escavatore usata come maglio. La disposizione dei terreni nello scavo dovrà rispettare l'originaria stratigrafia: in particolare il terreno vegetale dovrà essere messo in posto in superficie.

2.6.1.4 Documentazione

La documentazione relativa a ciascun pozzetto comprenderà:

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2.
- attrezzatura impiegata;
- quota assoluta o relativa di p.c. e relativa ubicazione planimetrica;
- livello piezometrico della falda freatica.
- stratigrafia geotecnica del terreno;
- documentazione fotografica (foto dello scavo; foto dell'escavatore installato sul punto di indagine;)
- tutte le indicazioni, in quota, relative al prelievo di campioni ed alla esecuzione di eventuali prove (misure di pocket e vane test, prove di carico su piastra, prove di densità in sito, ecc.).

2.6.2 PRELIEVO DI CAMPIONI RIMANEGGIATI IN POZZETTO

I campioni rimaneggiati, cioè rappresentativi della sola composizione granulometrica dei terreni, saranno prelevati dal materiale appena estratto dallo scavo, alla profondità prevista.

Una volta prelevati dovranno essere sigillati in sacchi o sacchetti di adeguata volumetria e resistenza. I contenitori dei campioni dovranno essere numerati, etichettati e conservati in accordo a quanto riportato nei capitoli 1.4.1 e 2.3.4 delle presenti Norme Tecniche.

La quantità necessaria per le prove di laboratorio è di circa 1 kg per i terreni fini e di circa 5 ÷ 10 kg per i terreni grossolani; il quantitativo minimo di terreno dovrà comunque rispettare quanto previsto delle Norme Tecniche (v. paragrafo 2.3.3.3).

In previsione di prove di costipamento tipo Proctor o prove CBR le quantità dovranno essere pari a 50 kg, 100 kg o più, secondo le indicazioni della Società.

I campioni di volume ridotto (1-10 kg) saranno contenuti in sacchetti di polietilene doppi. Il cartellino con le indicazioni dovrà essere sistemato al riparo dall'umidità nell'intercapedine tra i due sacchetti.

I campioni di grosso volume saranno contenuti in sacchi di iuta o pvc, con un cartellino identificativo indelebile attaccato al collo del sacco, una volta chiuso.

2.6.3 PRELIEVO DI CAMPIONI INDISTURBATI CUBICI

2.6.3.1 Generalità

Il campione indisturbato cubico potrà essere prelevato in un pozzetto esplorativo in terreni coesivi; tale campione dovrà essere di ottima qualità e dovrà essere rappresentativo, oltre che della composizione granulometrica, anche del contenuto d'acqua naturale e delle caratteristiche di resistenza e di deformabilità del terreno.

2.6.3.2 Caratteristiche delle attrezzature

L'attrezzatura necessaria per il prelievo di un campione indisturbato cubico dovrà essere costituita da:

- 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; due facce contrapposte devono essere asportabili e riapplicabili;
- paraffina in pani, 5 kg per ciascun campione, con fornello a gas e recipiente per la fusione;
- pennello da 5 ÷ 8 cm di larghezza.

2.6.3.3 Modalità esecutive

Le modalità di prelievo del campione indisturbato saranno le seguenti:

- alla quota indicata dal progetto delle indagini 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 di terreno fino ad ottenere un parallelepipedo di dimensioni leggermente inferiori a quelle della scatola;
- si leveranno le facce asportabili e si infilerà la scatola di legno sul blocco, fino in fondo;
- si riempirà con paraffina fusa l'intercapedine scatola-campione e la faccia superiore del campione e si riaplicherà la faccia sommitale della scatola cubica;
- si taglierà alla base il cubo con il filo di acciaio armonico;
- si rovescerà la scatola sottosopra;
- si regolarizzerà e si paraffinerà il lato inferiore del campione cubico così ottenuto, riapplicando la faccia inferiore della scatola cubica.

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

2.6.3.4 Documentazione

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

- informazioni generali (identificativo società, commessa, cantiere, ubicazione, data, nominativo dell'operatore)
- n° del pozzetto esplorativo;
- n° del campione;
- profondità di prelievo;
- parte alta del campione.

2.6.4 PROVA DI CARICO SU PIASTRA

2.6.4.1 Descrizione della prova

La prova consiste nel caricare per gradini successivi una piastra rigida circolare, ben appoggiata sulla superficie del terreno in prova, e misurare i cedimenti corrispondenti ai diversi gradini di carico.

2.6.4.2 Normative e specifiche di riferimento

- Association Suisse de Normalisation (1959). Norme suisse SNV 670317 "Essai de charge avec plaques"
- Association Suisse de Normalisation (1981). Norme suisse SNV 670317a - "Sols - Essai de plaque M_E "
- Association Suisse de Normalisation (1980). Norme suisse SNV 670319 - "Essai de plaque selon Westergard"
- CNR B.U. n.146/92 - Determinazione dei moduli di deformazione M_d e M'_d mediante prova di carico a doppio ciclo con piastra circolare rigida.

Nel caso si operi in contesti stradali o autostradali, la norma di riferimento sarà costituita dalla SNV 670317a (salvo diversa indicazione della Società).

In contesti aeroportuali potrà essere richiesta l'esecuzione della prova in accordo a standard differenti eventualmente anche operando con piastra da 60 cm di diametro.

La norma di riferimento SNV 670319 (corrispondente alla norma italiana C.N.R. B.U. n. 92/1983) sarà richiesta per la determinazione del modulo di reazione del sottofondo (k), per il dimensionamento della sovrastruttura di pavimentazioni rigide.

La realizzazione di prove di carico su piastra secondo standard o normative differenti (SNV 670318, ASTM D1196 - D1195 - D1194) non è contemplato in questo documento. Qualora siano richieste la Società trasmetterà preventivamente tutti i riferimenti tecnici e normativi necessari.

2.6.4.3 Caratteristiche delle attrezzature

L'attrezzatura da impiegarsi è la sottoelencata:

- piastra circolare in acciaio rigida, con spessore minimo di 20 mm e seguente diametro:
 - o diametro 298.5 mm (700 cm^2) per il calcolo dei moduli di deformazione;
 - o diametro 600 mm per analoghe determinazioni in ambito aeroportuale;
 - o diametro 762 mm per la determinazione del coefficiente di sottofondo; sopra la piastra di base si adaggeranno più piastre sovrapposte di diametro decrescente.
- comparatore centesimale (o terna di 3 comparatori, in relazione alla normativa di riferimento) per la lettura dei cedimenti con precisione e sensibilità di 0.01 mm ed escursione dell'astina ≥ 30 mm; il comparatore unico, in posizione centrale rispetto alla piastra, è richiesto per prove da eseguirsi secondo 670317 e 670317a; dispositivi a 3 comparatori orientati a 120° sul bordo piastra sono richiesti per prove da eseguirsi secondo SNV 670319 o CNR B.U. n.146/92.
- trave di riferimento porta comparatore, di buona rigidezza;
- martinetto di carico in grado di erogare pressioni massime ≥ 0.6 MPa sulla piastra;

MSQX-MSD-Rev0

- raccordo tra martinetto e struttura di contrasto costituito da giunto a snodo sferico;
- eventuali prolunghe in acciaio per il collegamento alla struttura di contrasto;
- struttura di contrasto, che può essere costituita da trave di contrasto, escavatore, autocarro, ecc. Qualora si utilizzi la trave di contrasto, la rigidità della trave deve essere adeguatamente dimensionata, così come i vincoli e la zavorra applicati. Qualora si utilizzi un mezzo meccanico, la massa deve essere maggiore di 2.5 volte il carico massimo totale sulla piastra previsto dal progetto delle indagini. Nel caso dell'escavatore, il contatto con il braccio di raccordo della piastra può avvenire in corrispondenza del corpo centrale, degli assi o della struttura portante della base del braccio meccanico dell'escavatore. Non è ammesso l'utilizzo della benna quale mezzo di contrasto, tranne che in particolari condizioni e solo dietro specifica autorizzazione. Le caratteristiche della struttura di contrasto, qualunque essa sia, devono essere comunicate preventivamente;
- pompa di alimentazione del martinetto;
- manometro per la misura del carico applicato, con fondo scala di 50 kN e precisione di 0.25 kN.

2.6.4.4 Operazioni preliminari

L'assemblaggio della attrezzatura di prova sarà eseguito in modo da rispettare quanto segue:

- la struttura di contrasto dovrà poggiare ad una distanza > 0.5 m dal bordo della piastra e dai punti di appoggio della struttura porta comparatore;
- la struttura porta comparatore dovrà poggiare ad una distanza > 0.5 m dal bordo della piastra;
- il martinetto dovrà essere centrato sulla piastra e perpendicolare ad essa; il comparatore dovrà essere poggiato in posizione centrale sulla piastra.

La piastra sarà poggiata su terreno con contenuto d'acqua naturale: la superficie del terreno non dovrà quindi essere rammollita per il contatto con eccessiva acqua o indurita per essiccamento.

Il terreno non dovrà essere disturbato in forma alcuna e dovrà essere ripulito a mano di qualsiasi detrito, copertura o ciottolo sporgente.

Il diametro massimo dei clasti nel terreno al di sotto della piastra non dovrà essere superiore a 100 mm.


Il terreno sarà, se necessario, regolarizzato con un sottile spessore di sabbia, per ottenere una superficie piana ed orizzontale.

La orizzontalità della piastra, una volta posta sul piano di prova, sarà verificata con livella a bolla; così pure la verticalità del martinetto e delle prolunghe.

2.6.4.5 Modalità esecutive

Per tutte le modalità di prova riportate nei paragrafi seguenti valgono le seguenti raccomandazioni generali:

- durante ogni gradino di carico si avrà cura nel controllare costantemente la invariabilità del carico applicato alla piastra; eventuali tendenze alla riduzione del carico devono essere compensate agendo opportunamente sulla pompa di alimentazione del martinetto;
- Una volta iniziata la messa in carico, non si dovrà apportare alcuno spostamento o modifica al dispositivo di prova (piastra, martinetto-prolunghe, comparatore);

	<p align="center">ISTRUZIONE TECNICA</p> <p align="center">PPR1 – REALIZZAZIONE PROGETTUALE</p> <p align="center">LAVORI DI INDAGINE GEOTECNICA NORME TECNICHE D'APPALTO INDAGINI IN SITO</p>	<p>Rif: IT-PPR1-GEO-003</p> <p>Rev: 0</p> <p>Data: 05/07/2021</p> <p>Pagina 120 di 302</p>
---	---	--

- il contrasto non dovrà subire alcuna vibrazione o scossa.

2.6.4.5.1 Prova condotta in accordo a SNV 670317a

La prova di carico su piastra dovrà essere eseguita secondo le seguenti modalità:

- applicazione di un carico preliminare di 20 kPa (inclusendo il peso dell'attrezzatura), in modo da assicurare un appoggio uniforme della piastra al terreno;
- lettura sul comparatore del valore iniziale di cedimento (stabilizzato);
- azzeramento del comparatore e applicazione di un primo gradino di carico di 50 kPa e lettura del relativo cedimento dopo 2 minuti esatti dalla completa applicazione del carico (senza attendere eventuali ulteriori stabilizzazioni dei cedimenti);
- applicazione dei successivi gradini di carico, secondo quanto disposto dal progetto delle indagini e in accordo alle sequenze di carico (scarico e ricarico) riportate nella tabella al paragrafo successivo, con lettura dei relativi cedimenti, sempre dopo 2 minuti dall'applicazione di ogni carico (scarico o ricarico).

Nella fase di scarico intermedio tra il primo e il secondo ciclo di carico, la diminuzione del carico (fino al valore di 50 kPa) dovrà avvenire rapidamente ed in unica soluzione. Prima di procedere all'applicazione del secondo ciclo di carico si rileveranno i cedimenti residui dopo 2' minuti dal termine del suddetto scarico.

2.6.4.5.2 Prova condotta in accordo a CNR B.U. 146/92

La prova differisce da quanto descritto precedentemente per i tempi di applicazione dei carichi in relazione all'entità dei cedimenti misurati. In tutte le fasi di prova, si tratti delle fasi di precarico, di carico, scarico o ricarico, il passaggio da una fase alla successiva avverrà solo dopo aver atteso il totale esaurimento dei cedimenti. Tale verifica avverrà previa lettura dei cedimenti ad ogni minuto; i cedimenti si considerano esauriti laddove tra due letture consecutive la differenza sia inferiore a 0,02 mm.

2.6.4.5.3 Prova condotta in accordo a SNV 670317

La prova differisce da quanto descritto precedentemente per i tempi di applicazione dei carichi in relazione all'entità dei cedimenti misurati. Dopo aver completato il precarico, con l'applicazione del primo gradino di carico, si attende la stabilizzazione del cedimento con misura al comparatore ad intervalli di 3-6-9. minuti per i terreni coesivi e 2-4-6 minuti per quelli granulari. Si passa al gradino successivo quando il cedimento misurato tra due letture consecutive sia esaurito (< 0,05 mm). Il tempo di permanenza nei successivi gradini di carico sarà uguale al primo gradino, indipendentemente dall'andamento del cedimento. La prova termina con il primo e unico scarico.

2.6.4.5.4 Prova condotta in accordo a SNV 670319 (o C.N.R. B.U. n. 92/1983)

La prova utilizzata per la determinazione del coefficiente di sottofondo (k) prevede l'utilizzo di una piastra di diametro 76,2 cm (30"). Il precarico è pari a 0,1 kg/cm² (comprendendo il peso delle piastre e di quanto altro grava su di esse) e sarà mantenuto fino alla stabilizzazione (meno di 0,5 mm di cedimento tra due letture successive in un minuto). Viene poi applicato un carico singolo di 0,7 kg/cm² e vengono misurate letture ai comparatori ad ogni minuto, fino alla stabilizzazione del cedimento. La prova termina con lo scarico.

2.6.4.6 Sequenze di carico

Nella tabella che segue sono riportate le sequenze di carico (in kPa) che potranno essere adottate in relazione ai vari protocolli di prova, con i relativi intervalli di carico in corrispondenza dei quali rilevare il cedimento per il calcolo del *modulo di compressibilità* M_E e/o M_E' , o il *coefficiente di reazione* k .

PROVA DI CARICO SU PIASTRA
SEQUENZE DI CARICO

Rif. Normativo	sequenze di carico / scarico / ricarico [kPa]	intervallo di carico per il calcolo M_E M_E' [kPa]
SNV607317a CNR B.U. 146	50 - 100 - 150 - 200 - 50 - 100 - 150	50 - 150
	50 - 150 - 250 - 350 - 50 - 150 - 250	150 - 250
	50 - 150 - 250 - 350 - 450 - 50 - 150 - 250 - 350	250 - 350
SNV607317	50 - 100 - 150 - 200	50 - 150
	50 - 150 - 250 - 350 - 450	150 - 250
	50 - 150 - 250 - 350 - 450 - 550	150 - 350
Rif. Normativo	sequenze di carico [kPa]	intervallo di carico per il calcolo di k [kPa]
SNV607319	70	10 - 70

La sequenza di carico da adottare dipenderà dal carico di esercizio e dalla destinazione d'uso del terreno oggetto di prova in relazione all'infrastruttura di progetto. Sarà comunicata dalla Società all'impresa esecutrice preventivamente all'esecuzione della prova.

2.6.4.7 Calcoli e determinazioni a fine prova

Il *modulo di compressibilità* M_E [kPa] dovrà essere calcolato al primo e al secondo ciclo di carico con la seguente equazione:

$$M_E = \frac{D_{p_i}}{D_{s_i}} * D$$

dove:

D_{p_i} [kPa] = intervallo di carico prescelto

D [mm] = diametro della piastra

D_{s_i} [mm] = cedimento corrispondente all'intervallo di carico prescelto.

Il *coefficiente di reazione* k [kg/cm³] (solo per SNV670319) sarà calcolato con la seguente espressione:

$$k = \frac{D_p}{D_s} = 0,6 / (l_2 - l_1)$$

dove:

D_p [kg/cm²] = intervallo di carico prescelto pari a 0,6

D_s [cm] = cedimento dovuto al carico (l_2) (al netto del cedimento di precarico(l_1))

Dopo la prova, l'omogeneità del terreno di prova dovrà essere verificata fino ad una profondità pari

a 0.5 m sotto il piano di prova. Eventuali anomalie o difformità dovranno essere riportate nel modulo di prova

Durante la prova si realizzerà una foto a colori della strumentazione; tale foto dovrà interessare lo scavo, l'attrezzatura e la struttura di contrasto a contatto con l'attrezzatura stessa.

2.6.4.8 Documentazione

La documentazione di prova dovrà comprendere:

- informazioni generali;
- documentazione fotografica
- tabelle riportanti le letture effettuate in cantiere;
- diagramma carichi-cedimenti;
- calcolo del modulo di compressibilità M_E (I° e II° ciclo), o del modulo di reazione k ;
- copia dei certificati di taratura del comparatore e del manometro, qualora richiesti, non anteriori di 6 mesi alla data della prova.

2.6.5 PROVA DI DENSITÀ IN SITO (METODO DELLA SABBIA CALIBRATA)

2.6.5.1 Descrizione della prova

La prova consiste nella determinazione della densità di un terreno in sito con il metodo della sabbia calibrata. La prova non è idonea né per terreni fini organici, saturi o fortemente plastici che si potrebbero deformare o comprimere durante lo scavo della cavità di prova, né per terreni grossolani sciolti che non siano in grado di garantire l'autosostentamento delle pareti della cavità di prova.

La prova si esegue scavando un foro nel terreno di prova e sostituendo il terreno asportato con una quantità nota di sabbia calibrata. Attraverso la successiva misura della quantità di terreno asportato e della sua umidità naturale, si giunge al calcolo del peso di volume e del peso di volume secco del terreno oggetto di prova.

2.6.5.2 Normative e specifiche di riferimento

- ASTM D 1556 - Standard Test Method for Density and Unit Weight of Soil in Place by the Sand-Cone Method

2.6.5.3 Caratteristiche delle attrezzature

L'attrezzatura da impiegarsi consiste in:

- base e cono di misura; conformi a quanto richiesto dalla normativa di riferimento;
- sistemi di fissaggio della base al terreno di prova e strumenti di scavo: (mazzetta, scalpello, cucchiai); ogni altro strumento utile all'esecuzione del foro e alla raccolta del terreno;
- recipienti contenenti la sabbia calibrata, in quantità e volumetria adeguata all'esecuzione del numero di prove richieste: saranno provvisti di chiusura a vite idonea al perfetto collegamento con il cono di misura;
- bilancia trasportabile meccanica o elettronica di portata pari a 20 kg \pm 1 g.

E' inoltre necessario prevedere il supporto di un laboratorio geotecnico, autorizzato dalla Società, attrezzato per la successiva misura del contenuto naturale d'acqua, da realizzarsi in accordo a quanto previsto nelle Norme Tecniche di Appalto per le prove di laboratorio.

2.6.5.4 Modalità di prova

Il volume minimo della cavità di prova dovrà essere stabilito in funzione della dimensione massima delle particelle del terreno naturale, in accordo alla seguente tabella:

Dimensione massima delle particelle [mm]	Volume della cavità di prova [cm ³]
12.5	1420
25	2120
50	2830

La prova dovrà essere preceduta da una fase di calibrazione, finalizzata alla determinazione della

densità della sabbia necessaria per calcolare il volume della cavità di prova e del quantitativo di sabbia trattenuto nel cono utilizzato per la prova. La calibrazione dovrà eseguirsi in laboratorio attraverso opportuno cilindro di calibrazione.

Copia del certificato di calibrazione, non antecedente di due settimane la data di prova, dovrà essere presente in cantiere al momento della realizzazione della prova.

Quando esplicitamente richiesto la fase di calibrazione dovrà realizzarsi in sito, precedentemente all'esecuzione della prova.

Dovrà essere utilizzata sabbia monogranulare con coefficiente di uniformità $C_u < 2$ con diametro massimo delle particelle inferiore a 2 mm e percentuale di passante al setaccio N. 60 ASTM ($\phi = 250$ mm) non superiore al 3%. La sabbia dovrà essere asciutta e pulita, con particelle arrotondate e sub-arrotondate.

La prova si eseguirà secondo la procedura seguente:

- la superficie di prova sarà precedentemente livellata a mano evitando di modificare in alcun modo le caratteristiche di densità del terreno naturale. Su tale superficie verrà appoggiata e fissata al terreno la base cava nella quale realizzare il foro di prova.
- Verrà realizzato il foro (che dovrà avere una forma il più possibile regolare) utilizzando gli strumenti di scavo più idonei al tipo e consistenza del terreno, assicurandosi di asportare completamente tutto il terreno rimosso.
- Il terreno scavato dovrà essere immediatamente riposto in un contenitore, per esempio doppio sacchetto in pvc, che lo preservi dalle possibili variazioni del contenuto d'acqua naturale, prima della misurazioni da effettuarsi in laboratorio (umidità naturale).
- a scavo completato il sacchetto verrà sigillato e pesato, annotando la misura sulla minuta di prova.
- Il cono di misura verrà fissato al recipiente contenente la sabbia calibrata, e l'intera strumentazione verrà pesata, annotando la misura sulla minuta di prova;
- accertata la chiusura del rubinetto di fuoriuscita della sabbia dal recipiente, il recipiente verrà posizionato sulla base cava, avendo cura di far combaciare perfettamente il bordo del cono con la base suddetta;
- verrà aperto il rubinetto di fuoriuscita della sabbia dal cono e si attenderà qualche minuto affinché la sabbia riempi completamente qualunque interstizio presente nel foro di prova e sotto il cono; in questa fase non si dovrà apportare alcuna vibrazione o movimento al terreno o alla strumentazione di prova;
- si chiuderà il rubinetto, si ruoterà il recipiente + cono e si procederà ad una nuova pesata della strumentazione, annotando la misura sulla minuta di prova.

2.6.5.5 Calcoli e risultati

Il peso di volume umido del terreno di prova sarà dato da:

$$g = \frac{P_t}{P_1 - P_2 - P_3} \cdot g_s \quad [\text{kN/m}^3]$$

dove:

Pt = peso del terreno naturale raccolto [kN];

P1= peso del boccione a inizio prova[kN];

P2= peso del boccione a fine prova [kN];

P3= peso della sabbia necessaria per riempire il cono di misura [kN]: tale valore sarà determinato sperimentalmente pesando per differenza la quantità di sabbia fuoriuscita dal recipiente+cono, una volta rovesciato sulla base cava adagiata su una superficie piana;

gs = peso di volume della sabbia calibrata [kN/m³]

Il peso di volume secco del terreno di prova sarà dato da:

$$g_d = \frac{g}{(1+w_n/100)} \quad [\text{kN/m}^3]$$

dove:

w_n = contenuto naturale d'acqua [%], determinato in laboratorio in accordo alle relative Norme tecniche d'Appalto;

2.6.5.6 Documentazione

La documentazione di prova dovrà comprendere:

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2.
- volume della cavità di prova;
- valore della densità umida in sito, con indicazione delle pesate eseguite;
- valore della densità secca in sito;
- contenuto naturale d'acqua, con documentazione delle pesate eseguite;
- volume del cono;
- densità della sabbia utilizzata (calibrata);
- descrizione visiva del terreno asportato;
- eventuali note ed osservazioni;
- copia del modulo di calibrazione della sabbia e del cono, di data non anteriore di due settimane alla data di prova.

2.6.6 PROVA DI PERMEABILITÀ IN POZZETTO

2.6.6.1 Descrizione della prova

E' una prova speditiva finalizzata alla determinazione della permeabilità dei terreni superficiali al di sopra della falda freatica.

2.6.6.2 Normative e specifiche di riferimento

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

2.6.6.3 Caratteristiche delle attrezzature

- Attrezzi da scavo, meccanico o manuale;
- asta o metro graduato;
- pompa di alimentazione o serbatoio di volumetria adeguata.
- contalitri di sensibilità pari a 0.1 l (la calibrazione del contalitri deve essere verificata in sito riempiendo un recipiente di volume noto e di capacità superiore a 100 l);

2.6.6.4 Modalità esecutive

La prova si esegue realizzando un pozzetto dalla superficie, sopra falda, di forma regolare: pareti verticali, base cilindrica o quadrata.

Il terreno oggetto di scavo dovrà avere caratteristiche granulometriche tali da garantire l'autosostentamento provvisorio delle pareti, anche quando sommerse in acqua. La superficie e le pareti di fondo scavo dovranno essere piane e ripulite da detriti.

Le dimensioni del pozzetto andranno concordate con la Società, in relazione al tipo di terreno: Il diametro minimo (o il lato di base) deve essere comunque pari ad almeno 10-15 volte il diametro massimo dei grani di terreno.

Indicativamente si può assumere un rapporto altezza/base (altezza/diametro) $> 1/4$.

Qualora sia nota la profondità della falda (e la stessa non sia troppo superficiale) si può ipotizzare un'altezza dello scavo pari a circa $1/7$ rispetto alla distanza tra il fondo e la quota di falda.

In ogni caso la profondità dello scavo sarà contenuta entro 1- 2 m dalla superficie.

Una volta scavato il pozzetto, le pareti laterali saranno ricoperte da una rete di rigidità e resistenza adeguata, con larghezza delle maglie tali da impedire l'eventuale franamento delle pareti senza ostacolare minimamente l'infiltrazione dell'acqua nel terreno. All'occorrenza la rete potrà essere puntellata o vincolata contro le stesse pareti con l'ausilio di alcuni picchetti.

Il pozzetto verrà riempito d'acqua fino a un livello di riferimento, generalmente prossimo alla sommità dello scavo, misurando con contalitri connesso al tubo di alimentazione la portata necessaria a mantenere costante il livello prestabilito. Affinché le successive misurazioni siano significative è necessario che il terreno attorno allo scavo sia saturato e si instauri un regime di flusso permanente; ciò avverrà quando la portata si sarà assestata ad un valore costante.

A questo punto potrà essere eseguita la prova vera e propria, secondo due procedure, da

svolgersi normalmente in sequenza.

2.6.6.4.1 Prova a carico costante

Si esegue misurando la portata necessaria per mantenere il livello costante nel foro. In tal modo si misura la permeabilità media di tutti gli ipotetici strati o livelli contenuti nel tratto di prova.

La permeabilità si calcola con una delle formule seguenti:

pozzetto a base quadrata
$$k = \frac{Q}{b^2} \frac{1}{27(h/b) + 3}$$

pozzetto a base circolare
$$k = \frac{Q}{\pi D h}$$

dove:

- Q = portata immessa (m³/s)
- b = lato del pozzetto quadrato (m)
- D = diametro del pozzetto circolare
- h = altezza dell'acqua mantenuta costante (m)

2.6.6.4.2 Prova a carico variabile (di abbassamento)

Si esegue interrompendo l'afflusso di acqua e misurando l'intervallo di tempo necessario affinché si abbassi il livello, di una quantità nota o fino a fondo foro.

Qualora siano stati identificati differenti livelli stratigrafici (strati), si può misurare la capacità di assorbimento di ogni singolo livello, misurando il tempo necessario affinché l'acqua passi dalla sommità alla base del livello stesso.

La permeabilità si calcola con una delle formule seguenti:

pozzetto a base quadrata
$$k = \frac{h_2 - h_1}{t_2 - t_1} \frac{1 + (2h/b)}{27(h/b) + 3}$$

pozzetto a base circolare
$$k = \frac{D (h_2 - h_1)}{32 (t_2 - t_1) h}$$

dove:

- Q = portata immessa (m³/s)
- b = lato del pozzetto quadrato (m)
- D = diametro del pozzetto circolare
- h = altezza dell'acqua a inizio del gradino di abbassamento (m)
- h₂ - h₁ = variazione di livello dell'acqua passando dal tetto alla base dello strato di terreno considerato

$t_2 - t_1$ = tempo impiegato dall'acqua per passare dal livello t_1 a t_2 .

2.6.6.5 Documentazione

La documentazione di prova dovrà contenere i seguenti dati:

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2;
- n° identificativo del pozzetto;
- schema geometrico e dimensioni del pozzetto (diametro o base, altezza),
- quota assoluta o relativa di p.c. e relativa ubicazione planimetrica;
- stratigrafia geotecnica del terreno;
- livello piezometrico della falda freatica, se nota;
- altezza della colonna d'acqua fino al livello di riempimento;
- valore di portata durante la prova a carico costante;
- tabulati con tutte le misurazioni eseguite durante la/le prova/e a carico variabile: tempi, abbassamenti;
- calcolo del coefficiente di permeabilità durante la prova a carico costante;
- calcolo del/i coefficiente/i di permeabilità durante la/le prova/e a carico variabile;
- documentazione fotografica (foto dello scavo);
- eventuali note e osservazioni.

3 INDAGINI E PROVE AMBIENTALI IN SITO

3.1 SONDAGGIO AMBIENTALE A CAROTAGGIO

Il sondaggio ambientale consiste nella perforazione a carotaggio in terreno o roccia e nella relativa descrizione stratigrafica. Il sondaggio dovrà essere eseguito con modalità tali da consentire il campionamento di terreni e acque finalizzati alla caratterizzazione ambientale dei terreni attraversati.

Durante ogni sondaggio ambientale andrà eseguita la stratigrafia del terreno estratto, andrà verificato il livello della falda freatica e andranno prelevati i campioni ambientali, preferibilmente nella zona vadosa o in frangia capillare. Il prelievo potrà avvenire alle profondità previste dalla Società, e/o in presenza di evidenze visive, olfattive o strumentali di potenziali contaminazioni.

La stratigrafia del pozzetto sarà riportata in un apposito modulo stratigrafico, completo di tutte le misurazioni e prove effettuate in parete o a fondo foro, nonché delle indicazioni relative ai campioni prelevati (tipo e quota di prelievo)

Quanto descritto di seguito ha validità generale, sia per la realizzazione di un intero sondaggio a finalità ambientale, sia per la perforazione di specifici tratti di un sondaggio avente anche finalità geotecniche (sondaggio geotecnico ambientale). In quest'ultimo caso gli aspetti tecnici e normativi di riferimento ambientale si applicheranno dall'inizio della perforazione e fintanto che le attività ambientali previste non siano completate.

Tutte le attività di tipo ambientale saranno retribuite in accordo alle relative voci di Elenco Prezzi.

3.1.1.1 Normative e specifiche di riferimento

- D.M. 471/1999 - Regolamento recante criteri, procedure e modalità per la messa in sicurezza, la bonifica e il ripristino ambientale dei siti inquinati.
- D.Leg.152/2006 - Norme in materia ambientale.
- D.P.R. 120/2017- Disciplina semplificata per la gestione delle terre e rocce da scavo.

L'Impresa dovrà comunque attenersi a quanto di seguito specificato.

3.1.2 ATTREZZATURE E IDONEITÀ ALLE LAVORAZIONI

Per la realizzazione di un sondaggio (o intervalli di carotaggio) ambientale l'attrezzatura di perforazione dovrà essere lavata e controllata precedentemente all'installazione sul cantiere. Non sono ammessi in nessun modo sgocciolamenti e perdite, anche ridotte, di olio idraulico dai circuiti, ed in particolare dal gruppo morse e dalla testa di perforazione. Quando richiesto si avrà cura di porre a terra, sotto l'attrezzatura di perforazione, un foglio di tessuto non tessuto, o altro materiale impermeabile, idoneo alla ritenzione e raccolta di qualunque eventuale sversamento o perdita dall'attrezzatura durante le lavorazioni.

Nell'esecuzione dei sondaggi e dei campionamenti di terreno di tipo ambientale occorrerà adottare tutte le cautele idonee a non provocare la diffusione di inquinanti, evitando, in fase di sondaggio, di attraversare gli strati impermeabili sottostanti la zona inquinata, al fine di non diffondere l'eventuale contaminazione. Dovrà quindi evitarsi assolutamente la dispersione di sostanze inquinanti tra i livelli di terreno potenzialmente contaminati e gli strati adiacenti.

Le eventuali acque reflue che potranno prodursi in superficie in fase di perforazione (per es. in presenza di falde freatiche in pressione o a piano campagna) dovranno essere raccolte in vasche di lamiera di volume apposito, opportunamente raccordate con il rivestimento a boccaforo.

Tutte le zone filettate relative al carotiere, corone, aste, tubi di rivestimento, dovranno essere preventivamente sgrassate, con completa rimozione di qualunque traccia di lubrificante.

Il carotiere dovrà essere lavato con idropulitrice durante tutte le lavorazioni ambientali, precedentemente ad ogni singola manovra ('decontaminazione'). Carotiere, corone e scarpe dovranno essere non verniciate.

Le aste di perforazione e i tubi di rivestimento dovranno essere lavati con idropulitrice all'inizio di ogni nuovo sondaggio; qualora sia necessario e richiesto dalla Società, il lavaggio dovrà avvenire precedentemente ad ogni manovra di infissione di ogni singola strumentazione.

Il lavaggio dovrà avvenire in vasche impermeabilizzate di capienza apposita. Tutta l'acqua di lavaggio dovrà essere raccolta e smaltita evitando dispersione incontrollata sul suolo, nel sottosuolo e nei corpi idrici. Lo smaltimento dovrà avvenire in accordo alla normativa vigente, attraverso la consegna a ditte autorizzate per il trasporto, e smaltita presso centri autorizzati.

L'impresa esecutrice delle indagini dovrà provvedere autonomamente alla definizione del codice identificativo CER (Codice Europeo Rifiuto) con il quale effettuare il trasporto, alla compilazione del registro di carico/scarico e alla archiviazione della copia del formulario di identificazione.

3.1.3 MODALITÀ DI PERFORAZIONE IN AMBITO AMBIENTALE

Il carotaggio ambientale dovrà essere eseguito a secco, senza circolazione di fluido.

I tubi di rivestimento, da utilizzarsi laddove necessario, saranno inseriti a rotazione a secco (o vibro-infissione), senza alcun fluido di circolazione. Qualora si ricorra al rivestimento provvisorio del foro, ogni manovra di carotaggio sarà seguita dall'installazione del rivestimento fino a fondo foro, e successiva manovra di pulizia.

Durante la perforazione ambientale l'unico lubrificante ammesso è costituito da grassi di origine vegetale, da utilizzarsi per il serraggio delle attrezzature di perforazione: aste, tubi di rivestimento, parti mobili del carotiere.

Tutte le operazioni di perforazione dovranno evitare l'eccessivo surriscaldamento del terreno oggetto di prelievo. Ciò potrà avvenire riducendo l'intervallo del tratto carotato durante ogni singola manovra.

Durante la perforazione l'attrezzatura dovrà operare in accordo alle seguenti caratteristiche e prestazioni:

- velocità di rotazione: 0 ÷ 300 rpm
- coppia max : ≥ 400 Kg/m
- corsa max: 100 cm
- spinta : ≤ 3000 Kg
- tiro: ≤ 3000 Kg

In ogni caso il carotaggio eseguito in ambito ambientale dovrà essere integrale e rappresentativo del terreno con recupero di terreno maggiore dell' 85%.

L'estrusione delle carote, al termine di ogni manovra di perforazione ambientale, dovrà avvenire adottando sistemi che prevedano la totale assenza di acqua dal circuito di spinta e di espulsione della carota. ciò potrà avvenire, per esempio, attraverso un estrusore idraulico a pistone, da posizionare a tergo del carotiere ed ad esso vincolato (una volta rimosse testa e corona), che agisce sulla carota attraverso un tampone o un piattello di estrusione di diametro compatibile con il carotiere stesso. La carota estratta sarà raccolta da una canalina di lunghezza adeguata, successivamente riposta nella cassa o nei contenitori opportuni.

Alternativamente si potranno utilizzare carotieri apribili longitudinalmente, tali da non richiedere l'utilizzo di alcuna attrezzatura di estrusione.

Altre attrezzature e tecniche di estrusione potranno essere proposti dall'Impresa, subordinandone l'utilizzo a preventiva autorizzazione da parte della Società.

Solo dietro esplicita autorizzazione della Società l'estrusione delle carote dal carotiere potrà effettuarsi a pressione idraulica, utilizzando la pompa di servizio, avendo cura di inserire un tampone a tenuta in testa al carotiere stesso, per impedire qualunque contatto tra terreno e fluido di spinta.

In presenza di terreni prevalentemente granulari potrà adottarsi l'estrusione della carota per gravità, tramite battitura del carotiere in prossimità alla corona terminale. In tal caso si avrà la massima cura nel raccogliere il materiale estruso in diversi recipienti di volume ridotto, che andranno immediatamente svuotati nella cassa porta carote nella posizione corrispondente alla profondità di carotaggio, impedendo rimescolamenti del materiale e qualunque eventuale contaminazione con l'acqua di falda contenuta in testa al carotiere.

L'eventuale installazione di strumentazione in foro dovrà avvenire avendo cura di non produrre la dispersione potenziale di sostanze inquinanti tra i livelli di terreno adiacenti; in particolare si dovrà porre attenzione alla presenza di eventuali livelli impermeabili che possano agire come barriera alla diffusione.

Laddove non vi sia strumentazione il riempimento del foro dovrà avvenire, quando richiesto, con una miscela cemento-bentonite-acqua in proporzioni tali da impedire che il foro agisca come via preferenziale per la falda idrica o eventuali contaminanti superficiali. In talune situazioni potrà rendersi necessario riempire il foro con lo stesso materiale precedentemente estratto, rispettando l'ordine di estrazione.

3.1.3.1 Documentazione

La documentazione da produrre relativamente all'esecuzione dei sondaggi ambientali dovrà attenersi a quanto indicato nel capitolo 1.3.2.

La descrizione stratigrafica dovrà essere eseguita in accordo a quanto indicato nel capitolo 2.1.8, prestando particolare attenzione a tutti gli elementi descrittivi utili alla caratterizzazione ambientale dei materiali attraversati.

3.2 SCAVO AMBIENTALE

Lo scavo ambientale ha finalità del tutto analoghe a quelle del sondaggio ambientale, limitatamente agli strati più superficiali di terreno.

Durante ogni scavo ambientale andrà eseguita la stratigrafia del terreno estratto, andrà verificato il livello della falda freatica e andranno prelevati i campioni ambientali alle profondità previste. La stratigrafia del pozzetto sarà riportata in un apposito modulo stratigrafico, completo di tutte le misurazioni e prove effettuate in parete o a fondo foro, nonché delle indicazioni relative ai campioni prelevati (tipo e quota di prelievo)

3.2.1.1 Normative e specifiche di riferimento

- UNICHIM 196/2 (2004) - Suoli e falde contaminati: campionamento e analisi

3.2.2 SCAVO DEL TERRENO PER MEZZO DI UTENSILI MANUALI

Si effettua tramite prelievo mediante utensili semplici come pale, vanghe, badili, palette, cazzuole. Con questi attrezzi viene rimossa la copertura superficiale alla profondità desiderata, e verranno prelevati campioni utilizzando un utensile più piccolo (ad esempio, una paletta, un cucchiaino o una spatola di laboratorio) in acciaio inossidabile non verniciato.

Questo tipo di scavo si applica per terreni coesivi e non coesivi, per profondità di indagine non superiori a 50 cm.

Per quanto attiene le procedure operative si rimanda alla normativa sopra indicata.

3.2.2.1 Documentazione

Per ogni scavo dovrà essere redatto un certificato contenente i dati seguenti:

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2.
- ripresa fotografica dello scavo
- tipo di utensile utilizzato;
- quantitativo di materiale scavato;
- stralcio planimetrico di ubicazione dello scavo.

3.2.3 SCAVO DEL TERRENO MEDIANTE TRIVELLA MANUALE

Lo scavo potrà essere effettuato utilizzando differenti tipi di trivelle, adatti per terreni a diversa granulometria, consistenza e coesione. Le differenze riguardano:

- il tipo di struttura portante della trivella (asta manuale con braccio a T, struttura a capra, colonna montante e piedistallo di base)
- il tipo di controllo e alimentazione (manuale, con motore a scoppio e trasmissione diretta, con motore a scoppio e alimentazione idraulica a cremagliera)
- il tipo di strumento tagliente, di diametro differente (elica continua, tagliente terminale)

La tipologia di strumento da utilizzare dovrà essere preventivamente autorizzato dalla Società, in relazione alla tipologia di terreno e modalità di prelievo richiesti. Nei terreni sciolti, nei quali il foro

tende al franamento dopo l'estrazione della trivella, potrà essere richiesta l'incamiciatura temporanea del foro.

Questo tipo di scavo si esegue per profondità di indagine prossima a circa 1,5 m, se realizzata con trivella manuale, e pari a circa 2-3 m se eseguita con trivella ad alimentazione meccanica.

Per quanto attiene le procedure operative si rimanda alla normativa sopra indicata.

3.2.3.1 Documentazione

Per ogni scavo dovrà essere redatto un certificato contenente i dati seguenti:

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2;
- descrizione stratigrafica del materiale scavato;
- tutte le indicazioni relative al prelievo di campioni e loro profondità di prelievo
- tipo e caratteristiche dell'utensile di scavo utilizzato;
- osservazioni e note eventuali (es. presenza e quota falda);
- ripresa fotografica del materiale scavato;
- stralcio planimetrico di ubicazione dello scavo.

3.2.4 **SCAVO DEL TERRENO MEDIANTE ESCAVATORE MECCANICO**

Lo scavo sarà effettuato con macchinari per movimento terra, quali un escavatore a benna rovescia in grado di raggiungere la profondità stabilita dal progetto delle indagini (max. 4 m).

L'attrezzatura di perforazione dovrà essere lavata e controllata precedentemente all'installazione sul cantiere. Non sono ammesse in nessun modo sgocciolamenti e perdite, anche ridotte, di olio idraulico dai circuiti, ed in particolare dal braccio e dalla benna di scavo. Quando richiesto si avrà cura di porre a terra, sotto l'attrezzatura di scavo, un foglio di tessuto non tessuto, o altro materiale impermeabile, idoneo alla ritenzione e raccolta di qualunque eventuale sversamento o perdita dall'attrezzatura durante le lavorazioni.

Per quanto attiene le procedure operative si rimanda alla normativa sopra indicata.

3.2.4.1 Documentazione

Dovranno essere forniti i seguenti dati:

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2;
- tipo e caratteristiche dell'attrezzatura utilizzata;
- descrizione stratigrafica del terreno
- tutte le indicazioni relative al prelievo di campioni, loro profondità di prelievo ed esecuzione di eventuali prove
- osservazioni e note eventuali (es. presenza e quota falda)
- documentazione fotografica (foto dello scavo; foto dell'escavatore installato sul punto di indagine;)

3.3 CAMPIONAMENTO AMBIENTALE DI TERRE, ROCCE E ACQUE

Il campionamento di terre e rocce nel corso di sondaggi a finalità ambientale può avvenire attraverso il prelievo dei seguenti tipi di campione:

- "Rimaneggiato" ottenuto mediante prelievo diretto dallo scavo ambientale, o mediante "quartatura" del materiale prelevato dalle cassette catalogatrici;
- "Spezzone lapideo" prelevato da carotaggio in roccia o cls.

Il campionamento di acqua può essere richiesto nei casi seguenti:

- prelievo di campioni di acqua di perforazione, durante l'esecuzione di un sondaggio;
- prelievo di campioni rappresentativi dell'acqua circolante nell'acquifero, in fori strumentati o in scavi che intercettino la falda freatica.

Il quantitativo di materiale da prelevare durante ogni campionamento andrà concordato con la Società, sia in relazione alle analisi da eseguire e sia per soddisfare eventuali richieste provenienti dagli enti controllori. In linea di principio dovranno prelevarsi min. 2 aliquote di materiale per ogni campionamento di volumetria e peso adeguati al tipo di prelievo.

Qualora richiesto dagli enti controllori potrà essere richiesta l'applicazione di sigilli di validazione ai campioni prelevati prima dell'invio al laboratorio di analisi, da eseguirsi secondo le modalità indicate dalla Società.

3.3.1 NORMATIVE E SPECIFICHE DI RIFERIMENTO

- D.M. 471/1999 - Regolamento recante criteri, procedure e modalità per la messa in sicurezza, la bonifica e il ripristino ambientale dei siti inquinati.
- D.L. 152/2006 - Norme in materia ambientale.
- D.P.R. 120/2017- Disciplina semplificata per la gestione delle terre e rocce da scavo
- APAT – RTI – TES (2004) - Proposta di guida tecnica sul campionamento dei suoli contaminati.
- APAT (2006) - Manuale per le indagini ambientali nei siti contaminati - Manuali e linee guida (43/2006).
- UNICHIM 196/2 (2004) - Suoli e falde contaminati: campionamento e analisi
- UNI 10802 (2013) – Rifiuti (Campionamento manuale e preparazione ed analisi degli eluati)
- UNI 5667-3 (2013) – Qualità dell'acqua - Campionamento - Parte 3: Conservazione e trattamento di campioni d'acqua
- IRSA – CNR (1985) - Quaderno 64/85.

L'Impresa dovrà comunque attenersi a quanto di seguito specificato.

3.3.2 MODALITÀ DI CAMPIONAMENTO

Per tutte le modalità di campionamento previste, tutti gli utensili utilizzati allo scopo dovranno essere soggetti a decontaminazione tra un campionamento ed il successivo, siano essi nell'ambito della stessa postazione (foro, scavo, trincea) o tra postazioni differenti.

MSQX-MSD-Rev0

La sola edizione controllata del documento è quella diffusa attraverso la rete informatica.

Tutte le copie disponibili su carta o su qualsiasi altro supporto, escluso l'originale, non sono soggette a controllo e il loro stato di aggiornamento deve essere verificato prima dell'uso.

3.3.2.1 Campione rimaneggiato prelevato direttamente dallo scavo ambientale

Il prelievo dovrà avvenire utilizzando un utensile manuale (paletta, cazzuola o cucchiaio) in acciaio inossidabile non verniciato.

Il prelievo avverrà a profondità normalmente ridotte (0-1 m, 1-2 m ecc.) , secondo richiesta della Società. Lo scavo sarà effettuato con le modalità descritte nel capitolo 3.2.2.

I contenitori da utilizzarsi per la conservazione dei campioni di terreno, ed il successivo invio al laboratorio, saranno costituiti da bottiglie di teflon o in vetro, a bocca larga, di volume min. 1 l, con tappo di plastica e battente di PTFE.

Laddove sia prevista l'analisi chimica di sostanze volatili, e in ogni caso, quando richiesto dalla Società, si provvederà parallelamente all'utilizzo di contenitori appositi (vials dedicati), contenenti appositi reagenti che fissano le sostanze contenute nel terreno.

I contenitori devono essere completamente riempiti del terreno, chiusi, etichettati, eventualmente sigillati, ed inoltrati al laboratorio di analisi, unitamente alle note di prelievo.

3.3.2.2 Campione rimaneggiato prelevato dalle casse sondaggi

Il campione sarà ottenuto adottando una delle seguenti procedure. La scelta delle procedure da seguire sarà funzione della coesione del terreno:

a) terreno coesivo:

- stesura di un telo pulito in polietilene di dimensioni minime di 2 x 2 m e spessore minimo 1,5 mm;
- posizionamento sul telo della semicarota (ottenuta con taglio longitudinale mediante spatola in acciaio inox);
- frazionamento della porzione di carota in almeno 20 parti equidimensionali, prelevandole in modo alternato ed accumulandole in due separate aliquote;
- per ciascuna aliquota le parti verranno ulteriormente suddivise a metà, ottenendo almeno 40 frazioni
- le 40 frazioni verranno rimescolate in modo da ottenere un campione omogeneo sul quale verrà eseguita l'operazione di "quartatura propriamente detta", tale da ottenere n° 1 campione distinto in due aliquote del peso di circa 1 Kg ciascuno.

b) terreno non coesivo (granulare):

- stesura di un telo pulito in polietilene di dimensioni minime di 2x2 m e spessore minimo 1,5 mm
- posizionamento sul telo di un quantitativo rappresentativo del tratto di interesse prelevato dalla cassetta
- omogeneizzazione con attrezzature idonee e perfettamente pulite
- esecuzione delle sequenze di quartatura fino ad ottenere n° 1 campione distinto in n°. 2 aliquote del peso di circa 1 Kg ciascuno.

I contenitori da utilizzarsi per la conservazione dei campioni di terreno, ed il successivo invio al laboratorio, saranno costituiti da bottiglie di teflon o in vetro, a bocca larga, di volume min. 1 l, con tappo di plastica e battente di PTFE.

Laddove sia prevista l'analisi chimica di sostanze volatili, e in ogni caso, quando richiesto dalla Società, si provvederà parallelamente all'utilizzo di contenitori appositi (vials dedicati), contenenti appositi reagenti che fissano le sostanze contenute nel terreno.

I contenitori devono essere completamente riempiti del terreno, chiusi, etichettati, eventualmente sigillati, ed inoltrati al laboratorio di analisi, unitamente alle note di prelievo.

3.3.2.3 Spezzoni lapidei

Quando si opera in terreni cementati e in rocce si dovranno prelevare dal carotaggio spezzoni di lunghezza ≥ 15 cm, rappresentativi del tipo litologico perforato.

In corrispondenza di opere d'arte in cemento armato (sottovia, muri di contenimento, tombini, spalle viadotti, ecc.) potranno prelevarsi campioni di conglomerato cementizio (ev. armato) mediante ausilio di carotatrice diamantata, azionata ad aria compressa o da motore elettrico o a scoppio.

Gli spezzoni lapidei dovranno essere conservati all'interno di sacchetti di polietilene pesante (spessore minimo 0,5 mm) sigillati, senza utilizzo di paraffina. Successivamente saranno inseriti in un involucro rigido di protezione a misura, all'occorrenza tagliato longitudinalmente per una migliore adesione alla superficie del campione e chiuso accuratamente con nastro adesivo.

3.3.2.4 Campioni di acque sotterranee e spurgo

Le modalità di spurgo e di campionamento dovranno essere eseguite secondo le indicazioni contenute nel progetto delle indagini e le eventuali indicazioni integrative fornite dalla Società.

Il campionamento delle acque sotterranee sarà effettuato a seguito di installazione e spurgo del piezometro utilizzando le seguenti attrezzature:

- pompa sommersa (per profondità elevate), pompa aspirante o pompa inerziale;
- campionatore statico (bailer) di diametro e volumetria proporzionata.

La scelta dell'attrezzatura dipenderà dalle condizioni tecniche (diametro, profondità del foro, livello di falda), dalla presenza di eventuali inquinanti e dalle loro caratteristiche di miscibilità con l'acqua.

Lo spurgo dovrà avvenire mediante pompa elettrosommersa a bassa portata o bailer manuale, e dovrà protrarsi sino al raggiungimento di una delle seguenti condizioni:

- rimozione di una quantità d'acqua compresa tra 3 e 5 volte il volume di acqua presente in condizioni statiche all'interno del piezometro;
- monitoraggio e verifica della stabilizzazione dei parametri chimico fisici dell'acqua di spurgo (ossigeno disciolto, conducibilità elettrica, PH, temperatura).

Altro criterio, che prevede tuttavia l'utilizzo di pompe specifiche, è quello detto low flow purging, che consente di indurre una minima perturbazione nel sistema acquifero e di ridurre i volumi di spurgo.

I contenitori da utilizzarsi per la conservazione dei campioni di acque, e per il successivo invio al laboratorio, saranno costituiti da bottiglie di plastica a bocca larga con tappo di plastica e battente di PTFE, ed una capacità minima di litri 1.

Precedentemente ad ogni campionamento in foro strumentato dovrà eseguirsi una misura freatimetrica.

3.3.3 CONSERVAZIONE E CONSEGNA DEI CAMPIONI

Salvo diversa autorizzazione, i campioni di terreno e di acqua dovranno essere inseriti subito dopo il prelievo in casse coibentate e refrigerate a 4° C (v. refrigeratori elettrici o contenitori termici provvisti di pani refrigeranti a base di etilenglicole o simili).

La consegna dei campioni al laboratorio dovrà avvenire nel più breve tempo possibile e comunque, salvo diversa indicazione, entro 3 giorni naturali consecutivi e successivi al campionamento, garantendo il mantenimento della temperatura.

4.1.2.1 Normative e specifiche di riferimento

- AGI Associazione Geotecnica Italiana (1977) - Raccomandazioni sulla Programmazione ed Esecuzione delle Indagini Geotecniche.
- ASTM D 2113 - Rock core Drilling and Sampling of Rock for Site investigation
- UNI EN 1997-2 (2007) - Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica. Parte 2. Indagini e prove nel sottosuolo [EN 1997-2 - Eurocode 7 - Geotechnical Design - Part 2: Ground investigation and Testing]
- EN ISO 22475-1:2006 - Geotechnical Investigation and Testing - Sampling Methods and Groundwater measurements - Part 1: Technical Principles for Execution.

La perforazione andrà eseguita secondo le indicazioni della Società, con riferimento alle procedure riportate di seguito.

4.1.2.2 Carotaggio ad aste e carotiere

Le modalità di esecuzione dei sondaggi geomeccanici saranno simili a quelle descritte per i sondaggi geotecnici.

Il carotaggio sarà eseguito preferibilmente con carotiere doppio (tipo T2, T6, T6s) e circolazione di fluido. L'uso di corona a inserti in widia o diamantata andrà deciso di volta in volta in relazione alle caratteristiche dei litotipi e alla qualità di carotaggio.

L'uso dei tubi di rivestimento provvisorio si renderà necessario qualora si attraversino intervalli di terreni sciolti o in presenza di roccia molto fratturata, tali da compromettere la stabilità del foro o l'installazione della strumentazione prevista.

4.1.2.3 Carotaggio Wire Line

La metodologia wire line prevede l'impiego di aste speciali, che svolgono anche la funzione di tubi di rivestimento provvisorio del foro, e di un apposito doppio carotiere collegato alla prima asta terminale.

All'inizio e al termine di ogni manovra di carotaggio, il tubo interno del doppio carotiere viene inviato/recuperato da fondo foro, mediante l'ausilio di un apposito attrezzo di pescaggio che scorre all'interno delle aste wire line.

Lo strumento di pescaggio è guidato da una fune in acciaio, movimentata dall'organo dell'attrezzatura di perforazione. In presenza di fori verticali la discesa a fondo foro avviene per gravità; nei fori orizzontali si ricorre all'ausilio di acqua in pressione inviata dalla superficie.

I carotieri utilizzati per la perforazione Wire Line sono costituiti dai seguenti diametri (diametro esterno / diametro carota):

- serie SQ 146.0 / 102.0 mm,
- serie PQ 122.6 / 83.0 mm
- serie HQ 96.0 / 61.1 mm,
- serie NQ 75.6 / 45.1 mm,
- serie BQ 60.0 / 33.5 mm.

La scelta dei diametri di perforazione andrà concordata con la Società, anche in relazione alla

massima profondità di perforazione. L'utilizzo di diametri NQ e BQ dovrà essere esplicitamente autorizzata.

Le corone da utilizzarsi sono generalmente diamantate (di tipo incastonato o impregnato).

4.1.3 DESCRIZIONE GEOMECCANICA DELLE CAROTE DI SONDAGGIO

4.1.3.1 Generalità

La descrizione geomeccanica della carote si distingue dalla usuale descrizione geotecnica perché viene eseguita in modo particolarmente approfondito e con criteri finalizzati alla caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso.

Le modalità di descrizione del sondaggio geomeccanico sono applicate ai sondaggi, o alle parti in roccia di sondaggi, per i quali sia espressamente richiesto dal progetto delle indagini.

4.1.3.2 Normative e specifiche di riferimento

- ISRM - Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests (1978) - Suggested Methods for the Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses.

4.1.3.3 Attrezzature per la descrizione geomeccanica

L'attrezzatura per la descrizione geomeccanica delle carote di sondaggio dovrà essere costituita da:

- profilografo a pettine (pettine di Barton), per il rilievo dei profili di rugosità dei giunti;
- penetrometro e/o scissometro tascabile, per la determinazione della resistenza di materiali di riempimento coesivi;
- spessimetro a lamelle e calibro, per la misura dell'apertura dei giunti;
- HCl diluito al 5%, per la classificazione di rocce carbonatiche.

Laddove espressamente richiesto dovrà essere previsto lo sclerometro da roccia tipo L (martello Schmidt), per la misura della resistenza della superficie dei giunti o della roccia sul bordo carota. In tal caso dovrà essere predisposto apposito supporto di contrasto in acciaio, di peso adeguato per il posizionamento delle carote su superficie rigida concava, e fissaggio tramite morsa di bloccaggio.

4.1.3.4 Modalità di descrizione delle carote e documentazione stratigrafica

Il geologo responsabile dovrà descrivere la stratigrafia così come richiesto per i sondaggi geotecnici, precisando i dati generali e tecnici, la litologia, il colore, il grado di alterazione e la struttura.

Tali informazioni dovranno essere riportate sul modulo stratigrafico generale, sul quale dovranno essere annotate anche le eventuali cavità e perdite di materiale, perdite di circolazione, venute idriche in pressione, presenza di gas, e tutto quanto già previsto e richiesto per il sondaggio geotecnico.

In aggiunta verrà compilato anche un apposito modulo geomeccanico, fornito dalla Società, sul quale si dovranno descrivere i seguenti caratteri geomeccanici e strutturali del sondaggio, illustrando con massima cura quanto di seguito specificato, suddividendo il carotaggio in intervalli di profondità sufficientemente omogenei:

- struttura della roccia: compatta (non si distinguono i costituenti la roccia ad occhio nudo), granulare (si distinguono macroscopicamente i diversi costituenti), orientata (i costituenti hanno orientazioni preferenziali per laminazione, scistosità o altro);

- recupero percentuale di carotaggio, annotato come sommatoria, espressa in percentuale, della lunghezza dei singoli spezzoni di carota recuperati in rapporto alla lunghezza totale del tratto perforato;
- R.Q.D. (Rock Quality Designation o percentuale di recupero modificato), determinato in accordo con la seguente espressione:

$$RQD = \frac{\sum l_i}{l_f} * 100 \quad [\%]$$

dove: l_i = singole lunghezze degli spezzoni di carota maggiori di 10 cm
 l_f = lunghezza totale del tratto perforato

In accordo con le Raccomandazioni ISRM (1978), in caso di fratture oblique, la lunghezza del singolo spezzone di carota dovrà essere misurato in corrispondenza dell'asse della carota. Se la carota ha subito frattura meccanica durante il rimaneggiamento o durante le operazioni di carotaggio, le superfici di rottura saranno fresche e perfettamente ricomponibili; i pezzi corrispondenti dovranno essere ricomposti e contati come un unico pezzo, a patto che raggiungano la lunghezza richiesta di 10 cm.

Salvo diversa autorizzazione della società, il valore di RQD dovrà essere determinato per ogni metro di lunghezza e comunque in modo tale da permettere una accurata definizione della sua variabilità e una adeguata localizzazione delle zone con valore di RQD basso o nullo.

- frequenza, definita come il numero di discontinuità naturali per ogni metro di sondaggio;
- tipo di ciascun giunto o discontinuità costituente un piano di separazione o debolezza (frattura, faglia, piano di strato, piano di scistosità, frattura indotta meccanicamente); a tale scopo potranno utilizzarsi acronimi specifici, esplicitati in apposita legenda;
- inclinazione di ogni giunto, espresso come angolo tra la perpendicolare all'asse di perforazione e il piano di discontinuità, da rilevarsi con apposito goniometro;
- durezza della superficie del giunto, stimata in base ai criteri di scalfibilità (con unghia o con punta di acciaio) e misurata con sclerometro da roccia tipo L (Schmidt Hammer) mediante determinazione dell'indice JCS (Joint Compressive Strength) su spezzone di carota appositamente bloccato con una morsa; la misura o stima della durezza della superficie del giunto permettono di descriverne il grado di alterazione;
- rugosità di ogni giunto alla scala della carota, da rilevare con il profilografo a pettine e da esprimere, dopo confronto con la tabella di riferimento ISRM, con un valore di JRC (da 0 a 20);
- riempimento (coesivo, non coesivo, assente, ecc.), spessore (mm), tipo, ed eventuale resistenza misurata con penetrometro o scissometro tascabile (kPa).

4.1.4 IMPIEGO DEL PREVENTER

4.1.4.1 Generalità

Il preventer è un dispositivo che permette di eseguire la perforazione operando attraverso sistemi a pressione differente. In particolare, il preventer permette di gestire la differenza di pressione esistente tra il tratto in perforazione (a pressione maggiore) e l'ambiente ad esso esterno, consentendo il passaggio e la fuoriuscita controllata del fluido di perforazione e dei detriti, minimizzando il rischio di innesco di fenomeni di decompressione e di rilassamento degli strati di terreno attraversati.

Il preventer dovrà essere predisposto solo se autorizzato dalla Società; in particolare il responsabile di cantiere dovrà richiederne l'utilizzo ogni qual volta la perforazione sia effettuata in contesti che presentino rischio di venute idriche o gassose ad elevata pressione.

4.1.4.2 Tipi di preventer

Il corpo principale del preventer è costituito da un tubo di dimensioni appropriate al diametro ad al tipo di perforazione da eseguire. Su una delle due estremità del tubo è montata una valvola a saracinesca, mentre sull'altra è montato un dispositivo coassiale "premistoppa" che realizza una tenuta idraulica tra l'asta di perforazione e il corpo del preventer.

Una eventuale seconda saracinesca, di dimensioni inferiori, può essere presente sulla parete laterale del tubo, in posizione intermedia tra saracinesca e premistoppa, tale da permettere il passaggio del fluido di perforazione e dei detriti prodotti.

Qualora richiesto, sul tubo dovrà essere ricavato un raccordo sul quale applicare un manometro per il rilevamento delle pressioni.

In funzione dell'impiego e delle sollecitazioni alle quali verrà sottoposto, il preventer potrà essere distinto nei seguenti tipi:

- meccanico: la tenuta tra l'asta di perforazione ed il corpo del preventer è realizzata per mezzo di una treccia di corda sevata che, avvitato sull'estremità del preventer si comprime aderisce all'asta in movimento. Con questo tipo di tenuta, è possibile contenere pressioni fino ad un centinaio di bar.
- pneumatico: la tenuta tra asta di perforazione e corpo del preventer avviene per mezzo di un manicotto in gomma gonfiato con aria compressa. Questo dispositivo tecnicamente più vantaggioso, può operare fino a pressioni prossime a 10 bar.

Esiste una terza tipologia più complessa, ad uso prevalentemente petrolifero, ma date le dimensioni e le pressioni per le quali è stato progettato, non è generalmente di utilità per le attività oggetto delle presenti Norme Tecniche.

Qualsiasi tipo di preventer dovrà essere attrezzato con un opportuno tubo di iniezione, che consenta l'eventuale iniezione in pressione di qualunque fluido o miscela di tamponamento per la messa in sicurezza in caso di situazioni di emergenza.

4.1.4.3 Prove tecnologiche preliminari e definizioni metodologiche

Il fornitore ha l'obbligo di eseguire delle prove tecnologiche preliminari a propria cura ed onere per verificare che le attrezzature e le modalità di esecuzione da lui proposte permettano il conseguimento dei fini progettuali preposti.

Il dimensionamento geometrico del preventer, dei suoi accessori e di tutti i suoi componenti, (tubo d'attesa, saracinesche, guarnizioni di tenuta, valvole pneumatiche, manometri, raccordi, ecc), dovrà garantire il passaggio degli utensili di perforazione nei diametri previsti, la loro manovra e/o il loro recupero in qualsiasi momento della lavorazione ed, in caso d'emergenza, l'ermetica chiusura del dispositivo installato.

Prima della messa in opera del preventer, sarà fornita alla Società, la relativa scheda tecnica con indicate le seguenti caratteristiche del dispositivo:

- pressione massima di utilizzo;
- diametro di passaggio;
- tipo e dimensioni dell'utensile di perforazione;
- tipo e dimensione del tubo di attesa sul quale verrà applicato il preventer.

4.1.4.4 Messa in opera del preventer

Per una corretta messa in opera del dispositivo, è necessario poter disporre di un muro tampone o comunque di una superficie del terreno consolidata e rinforzata, adeguatamente dimensionata per sopportare le sollecitazioni trasmesse dal retrostante ambiente in pressione, sul quale attaccarsi con il preventer.

L'applicazione del preventer prevede la messa in opera di un tubo di attesa o tronchetto di fissaggio, di dimensioni e caratteristiche indicate sulla scheda tecnica fornita dal costruttore, che dovrà essere cementato all'interno di un foro realizzato nel muro tampone o nel terreno consolidato, in corrispondenza del punto sul quale si dovrà successivamente intervenire.

Tutti i preventer, dopo la loro applicazione e prima di intraprendere la perforazione, dovranno essere sottoposti ad una prova idraulica con una pressione pari almeno al doppio di quella a cui si prevede saranno sottoposti.

4.1.4.5 Prescrizioni di sicurezza

Prima dell'inizio delle lavorazioni dovrà essere predisposto un protocollo che indichi dettagliatamente tutte le fasi operative dell'intervento; in particolare, dovranno essere elencate le procedure di sicurezza che il personale abilitato dovrà prontamente mettere in atto in caso di incidenti e situazioni d'emergenza che potrebbero verificarsi durante le lavorazioni.

In qualsiasi caso, non sarà consentito sospendere le lavorazioni, sia pure temporaneamente, prima che tutti i dispositivi messi in opera non siano stati messi in condizioni di sicurezza.

Il personale addetto dovrà essere adeguatamente istruito e messo in condizione di operare seguendo i protocolli e le procedure di sicurezza indicate dallo stesso fornitore ed approvate dalla Società.

4.2 INDAGINI E PROVE GEOMECCANICHE IN FORO DI SONDAGGIO

4.2.1 RILIEVO DELLA PRESENZA DI GAS METANO IN FASE DI PERFORAZIONE MEDIANTE ESPLOSIVIMETRO ED ANALISI GASCROMATOGRAFICHE DI LABORATORIO

4.2.1.1 Generalità

Il rilievo continuo a bocca foro dei gas contenuti nei fluidi di perforazione mediante esplosivimetro e la successiva analisi gascromatografica di laboratorio di campioni di fluido di perforazione prelevati a bocca foro consente di ottenere indicazioni sulla presenza di gas (con particolare riferimento al metano) negli ammassi rocciosi perforati e di localizzare i livelli maggiormente produttivi.

4.2.1.2 Normative e specifiche di riferimento

- U.S. EPA SW-846 chapter 4.1 – Sampling considerations;
- U.S. EPA 8015C Rev. 3/2000: determination of the concentration of nonhalogenated volatile organic compounds by gas chromatography.
- U.S. EPA 3810 - 1986.

Qualunque metodologia di estrazione o analisi eseguita, anche se non esplicitamente contemplata dall'elenco suddetto, dovrà necessariamente portare anche alla determinazione del contenuto in metano disciolto.

4.2.1.3 Caratteristiche delle attrezzature

L'attrezzatura da impiegarsi sarà costituita dalle seguenti parti:

- tubazione di imbocco della perforazione dotata di stramazzo o altro sistema di convogliamento dei fanghi refluenti dal foro;
- unità di convogliamento dei gas ubicata sullo stramazzo in prossimità della bocca foro e sagomata a tronco di cono aperto verso l'atmosfera;
- esplosivimetro dotato di sensore per il gas metano (CH_4) a compensazione catalitica o a fotoionizzazione, con precisione non inferiore al 5% del valore rilevato espresso come % del LEL (limite inferiore di esplosività, corrispondente per il metano ad una concentrazione volumetrica del 5%) o in alternativa come concentrazione volumetrica percentuale, attrezzato con pompa di aspirazione motorizzata e di data-logger interno in grado di memorizzare almeno un dato ogni 5' durante l'intero turno di lavoro;
- computer portatile per la memorizzazione dei dati acquisiti dal data-logger e per le successive elaborazioni;
- sistema di ricircolo del fluido di perforazione comprendente almeno tre vasche indipendenti in cascata; oppure di vasca singola dotata di apposito agitatore meccanico, avente la funzione di mantenere l'acqua in continuo movimento;
- serie di fiale per il campionamento a bocca foro del fluido di perforazione, di capacità di almeno 40 ml, dotate di tappo a vite con setto in teflon (o apposita pinza di chiusura) per la successiva estrazione del campione in laboratorio;
- unità frigorifera per la conservazione dei campioni a temperatura controllata non superiore a

MSQX-MSD-Rev0

La sola edizione controllata del documento è quella diffusa attraverso la rete informatica.

Tutte le copie disponibili su carta o su qualsiasi altro supporto, escluso l'originale, non sono soggette a controllo e il loro stato di aggiornamento deve essere verificato prima dell'uso.

4°C fino alla consegna al laboratorio di analisi;

- software di elaborazione dei dati acquisiti;

4.2.1.4 Modalità esecutive

All'inizio di ciascuna campagna l'esplosivometro dovrà essere opportunamente calibrato con bombole di gas metano a concentrazione nota.

Prima dell'inizio delle attività di perforazione si installerà la sonda dell'esplosivometro in corrispondenza dell'apertura superiore dell'unità di convogliamento dei gas e si avvierà l'acquisizione dati che dovrà in ogni caso essere condotta con frequenza non inferiore ad una registrazione ogni 5'.

Al fine di evitare possibili contaminazioni i gas di scarico della sonda di perforazione dovranno essere allontanati dalla zona di misura mediante apposite tubazioni flessibili.

Al fine di garantire un buon campionamento dei gas contenuti negli ammassi rocciosi attraversati la perforazione dovrà essere condotta impiegando esclusivamente fluidi sufficientemente viscosi, con densità compresa tra 1.1 e 1.3 g/cm³. Inoltre per evitare concentrazioni di gas nei fluidi di perforazione gli stessi dovranno essere costantemente mantenuti in agitazione nelle prime due vasche di ricircolo e si dovrà inoltre controllare periodicamente l'eventuale presenza di gas nei fluidi contenuti nell'ultima vasca a monte della successiva reimmissione in circolo.

Ogni 10 m di avanzamento, o ad altri intervalli stabiliti dalla Società, si procederà al prelievo di campioni di fluido di perforazione da inviare in laboratorio per l'esecuzione di analisi gascromatografiche. Le successive determinazioni di laboratorio dovranno in ogni caso comprendere il contenuto di metano disciolto nel fluido di perforazione.

In particolare per ciascuna profondità di prelievo, in accordo al capitolo 4.1 della norma U.S. EPA SW-846, si dovranno prelevare due fiale di fluido che dovranno essere riempite per circa l'80% del proprio volume, sigillate con il tappo a vite a tenuta stagna o mediante apposita pinza, etichettate con indicazione del sondaggio di riferimento, della sigla del campione, della profondità e dell'ora di prelievo, ed immagazzinate in contenitori frigoriferi alla temperatura di 4°C.

I campioni prelevati dovranno essere prontamente inviati in laboratorio in modo che l'analisi gascromatografica sia eseguita su una delle due fiale prelevate per ciascuna profondità entro il limite massimo di 7 giorni dal prelievo; la seconda fiala dovrà essere conservata in laboratorio per eventuali controanalisi e potrà essere smaltita solo dopo approvazione della Società.

Durante l'avanzamento della perforazione si dovrà inoltre compilare una scheda di lavorazione in cui si riporterà la profondità raggiunta ad intervalli non superiori a 15'.

4.2.1.5 Documentazione

La documentazione minima da fornire per ciascun foro analizzato, che dovrà essere consegnata sia su supporto cartaceo che su supporto informatico, dovrà comprendere:

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2.
- diametro e orientazione del foro;
- caratteristiche tecniche dell'esplosivometro impiegato;
- diagramma profondità/concentrazione di gas rilevata a bocca foro espressa in % LEL o in alternativa in % volumetrica;
- rappresentazione in funzione della profondità dei risultati delle analisi gascromatografiche di laboratorio espressi in mg/l;

- risultati della calibrazione preliminare dell'esplosivometro;
- certificato di taratura dell'esplosivometro impiegato.

4.2.2 RILIEVO TELEVISIVO

4.2.2.1 Generalità

Il rilievo televisivo del foro di sondaggio consente la visione diretta delle condizioni stratigrafiche e strutturali di un ammasso roccioso perforato da un sondaggio e l'individuazione di eventuali cavità.

4.2.2.2 Caratteristiche delle attrezzature

L'attrezzatura da impiegarsi potrà essere di due tipi:

- sonda televisiva standard, costituita da:
- telecamera alloggiata in sonda protettiva, diametro esterno $\varnothing_{est} \leq 70$ mm, con obiettivi intercambiabili per la visione assiale e laterale, con sorgente luminosa incorporata e dotata di bussola per la determinazione dell'orientazione;
- unità di controllo con monitor con regolazione di intensità luminosa, contrasto, messa a fuoco dell'obiettivo, possibilità di videoscrittura e indicazione continua della profondità della sonda;
- videoregistratore VHS connesso all'unità di controllo;
- cavi di collegamento, con avvolgicavo dotato di dispositivo per il controllo della profondità della telecamera.

L'attrezzatura deve in ogni caso garantire immagini di chiara leggibilità, tali da permettere il riconoscimento dei piani di discontinuità intersecanti il sondaggio ed il rilievo della giacitura (immersione ed inclinazione) dei medesimi.

- sonda televisiva BIPS (Borehole Image Processing System), in grado di misurare e descrivere le caratteristiche geometriche e geomeccaniche delle discontinuità presenti in un foro di sondaggio con una notevole accuratezza e precisione, costituita da:
- sonda munita di videocamera, specchio troncoconico di riflessione, unità magnetometrica per la determinazione dell'orientazione, unità servoaccelerometrica per la determinazione dell'inclinazione del foro e di dispositivi di centratura nel foro; in ogni caso la sonda utilizzata dovrà garantire una risoluzione non superiore a 0.5 mm;
- unità di elaborazione e registrazione delle immagini munita di monitor a colori, in grado di ottenere, attraverso la digitalizzazione di un'immagine orientata, una sviluppata a 360° della parete del foro;
- cavi di collegamento, con dispositivo di calata nei fori verticali, che permette di regolare la discesa della sonda e di misurarne la profondità.
- unità di analisi, in grado di elaborare su monitor le immagini a 360° registrate in sito e di acquisire le immagini da video mediante apposito software.

In particolare quest'ultima unità consente di selezionare le discontinuità in base alla tipologia (stratificazione, scistosità, vene di minerale, fratture, ecc.), alle caratteristiche morfologiche (planari, irregolari, non continue, lenticolari, ecc.), al grado di alterazione (fresche, ossidate, argillificate, ecc.) e di misurarne la giacitura e l'apertura. L'unità consente anche l'elaborazione statistica dei dati.

L'utilizzo dell'uno o dell'altro tipo di attrezzatura e, nel caso di rilievo con sonda BIPS, l'indicazione dei tratti di foro dei quali eseguire l'interpretazione geostrutturale di dettaglio, dovrà

MSQX-MSD-Rev0

La sola edizione controllata del documento è quella diffusa attraverso la rete informatica.

Tutte le copie disponibili su carta o su qualsiasi altro supporto, escluso l'originale, non sono soggette a controllo e il loro stato di aggiornamento deve essere verificato prima dell'uso.

essere specificato nel Progetto delle Indagini o essere comunicato dalla Società.

4.2.2.3 Caratteristiche del foro di sondaggio

Il foro di sondaggio dovrà essere del tutto privo di rivestimento e di diametro ≥ 100 mm, asciutto o contenente acqua limpida, decantata per almeno 3 ÷ 4 ore prima dell'ispezione.

4.2.2.4 Modalità esecutive

La telecamera dovrà essere calata lentamente nel foro, fermandosi in corrispondenza dei particolari litologici o strutturali d'interesse, regolando opportunamente il monitor onde ottenere la migliore qualità possibile delle immagini.

Le annotazioni relative ai dati generali dell'ispezione e agli aspetti particolari di quanto osservabile saranno eseguite mediante sovrapposizione su video, con l'uso della tastiera per la videoscrittura.

Nel caso di rilievo eseguito con sonda BIPS si dovrà adottare una velocità uniforme non superiore a 1 m/min e comunque tale da garantire una risoluzione finale non superiore a 0.5 mm.

Tutte le immagini su monitor, incluse le annotazioni aggiunte, dovranno essere registrate in formato digitale dvd.

4.2.2.5 Documentazione

La documentazione dell'ispezione televisiva dovrà comprendere:

- disco dvd.o altro supporto elettronico autorizzato.;
- relazione descrittiva contenente le informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, data, nominativo dell'operatore), le caratteristiche tecniche della sonda televisiva (dimensioni, tipo e caratteristiche obiettivi), la schematizzazione grafica orientata del reticolo dei piani di divisibilità rilevati durante l'ispezione, con l'indicazione di tutte le misure e le informazioni necessarie per la completa comprensione del rilievo televisivo e per le successive elaborazioni.

Nel caso di rilievo eseguito con sonda BIPS, oltre alla documentazione di cui sopra, dovrà essere consegnata, sia su supporto cartaceo che su supporto informatico, la seguente documentazione:

- documentazione fotografica a colori di tutto il tratto di foro rilevato, sviluppata a 360° con indicazione dell'orientazione.

E, per i tratti di foro dei quali venga richiesta anche l'interpretazione geostrutturale di dettaglio:

- tabella riassuntiva con indicazioni relative alla giacitura, alla tipologia, all'apertura, alla forma della traccia e al grado di alterazione di tutte le discontinuità rilevate;
- sezioni N-S lungo l'asse del sondaggio con riportate le tracce delle discontinuità rilevate;
- diagramma della densità di fratturazione, espressa come numero di fratture per metro di foro rilevato;
- diagramma equiareale di Schmidt con i poli dei piani di discontinuità rilevati per ciascuna zona omogenea in cui risulta divisibile il tratto di foro in esame;
- diagramma equiareale di Schmidt con le aree di isodensità per ciascuna zona omogenea in cui risulta divisibile il tratto di foro in esame;
- tabella con i dati giaciturali, tipologici e di apertura medi delle famiglie di discontinuità individuate.

4.2.3 RILIEVO ULTRASONICO CON SONDA BHTV

4.2.3.1 Generalità

Il rilievo del foro di sondaggio con sonda BHTV (Borehole Televiwer) consente di ottenere un'immagine acustica orientata delle pareti del foro attraverso la misura del tempo di percorrenza e dell'ampiezza di un segnale ultrasonico emesso dalla sonda stessa e riflesso dalle pareti del foro.

L'orientazione dell'immagine acquisita e l'inclinazione del tratto di foro in esame sono fornite da un'unità magnetometrica e servoaccelerometrica interna alla sonda BHTV.

L'interpretazione dell'immagine acquisita attraverso apposito software consente di definire le caratteristiche strutturali (immersione, inclinazione e apertura) di tutte le discontinuità che intersecano il tratto di foro esaminato.

L'analisi strutturale dei tratti di foro omogenei, condotta attraverso la tecnica delle proiezioni stereografiche, consente inoltre di definire le caratteristiche medie delle famiglie di discontinuità riconoscibili.

Infine attraverso l'esame della forma assunta dal tratto di foro in esame (deformata) è possibile ricavare informazioni qualitative sull'orientazione degli sforzi agenti nel piano perpendicolare al foro in esame.

4.2.3.2 Caratteristiche delle attrezzature

L'attrezzatura da impiegarsi sarà costituita dalle seguenti parti:

- sonda BHTV, diametro esterno $\varnothing_{est} \leq 45$ mm, dotata di unità di emissione e acquisizione ultrasonica con frequenza operativa non inferiore a 500 kHz, in grado di ruotare attorno al proprio asse con velocità compresa tra 7 e 12 giri al secondo e con scansione non inferiore a 128 acquisizioni per giro, di unità magnetometrica per il controllo dell'orientazione, di unità servoaccelerometrica per il controllo dell'inclinazione e di dispositivi di centratura nel foro;
- unità di controllo e registrazione dei dati acquisiti, con monitor per la visione in tempo reale del corretto andamento del rilievo in corso;
- cavi di collegamento, con avvolgicavo dotato di dispositivo per il controllo della profondità della sonda e di motore per il sollevamento della sonda a velocità costante;
- software di elaborazione dei dati registrati in sito in grado di calcolare la giacitura e l'apertura delle discontinuità individuate. Il software dovrà consentire anche l'elaborazione statistica dei dati attraverso la tecnica delle proiezioni stereografiche applicata a tratte omogenee di foro e di determinare la geometria del foro. In tutte le elaborazioni si dovrà tenere conto dell'inclinazione locale del tratto di foro in esame, rilevata dall'unità servoaccelerometrica interna alla sonda BHTV.

4.2.3.3 Caratteristiche del foro di sondaggio

Il foro di sondaggio dovrà avere diametro compreso tra 57 e 200 mm, dovrà essere privo di rivestimento e dovrà essere riempito di acqua o di altro fluido di perforazione avente in ogni caso densità non superiore a 1.3 g/cm^3 . Al fine di ottenere una migliore risoluzione dei dati acquisiti i fori dovranno essere perforati esclusivamente con utensili diamantati.

4.2.3.4 Modalità esecutive

La sonda dovrà essere calata a fondo foro e, ad avvenuta stabilizzazione termica, si procederà al rilievo sollevandola gradualmente con velocità uniforme non superiore a 2 m/min.

Durante il rilievo si controllerà sul monitor in superficie la qualità dei dati acquisiti adeguando eventualmente le modalità operative.

I dati acquisiti dovranno essere registrati su supporto informatico per le successive elaborazioni.

4.2.3.5 Documentazione

La documentazione minima da fornire per ciascun foro analizzato, che dovrà essere consegnata sia su supporto cartaceo che su supporto informatico, dovrà comprendere:

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2.
- diametro nominale del foro;
- caratteristiche tecniche della sonda utilizzata;
- frequenza del segnale;
- velocità di rotazione;
- frequenza di scansione;
- velocità di risalita;
- diagramma a colori profondità/tempo di percorrenza sviluppato a 360° con indicazione dell'orientazione;
- diagramma a colori profondità/ampiezza sviluppato a 360° con indicazione dell'orientazione;
- indicazione dell'immersione e dell'inclinazione di ogni discontinuità intercettata riportata su un diagramma in funzione della profondità con distinzione tra stratificazione, scistosità e fratture;
- diagramma della densità di fratturazione, espressa come numero di fratture per metro di foro rilevato;
- diagramma equiareale di Schmidt con i poli dei piani di discontinuità rilevati per ciascuna zona omogenea in cui risulta divisibile il tratto di foro in esame;
- diagramma equiareale di Schmidt con le aree di isodensità per ciascuna zona omogenea in cui risulta divisibile il tratto di foro in esame;
- tabella riassuntiva con i dati giacitureali delle discontinuità rilevate e i dati medi delle famiglie di discontinuità individuate;
- diagramma della deformazione del foro per zone omogenee a mezzo di rappresentazioni orientate della forma assunta dal foro nel piano orizzontale.

4.2.4 DETERMINAZIONE DELLO STATO DI SOLLECITAZIONE NATURALE CON METODO DOORSTOPPER

4.2.4.1 Descrizione della prova

La prova consente di determinare lo stato tensionale in un ammasso roccioso attraverso la misura con cella estensimetrica delle deformazioni della porzione centrale di un foro di sondaggio inclinato verso l'alto o suborizzontale a seguito della liberazione delle tensioni ottenuta mediante sovracarotaggio.

In particolare la prova doorstopper, utilizzando una sola cella estensimetrica, permette il rilievo delle tensioni solo su di un piano, corrispondente alla sezione diametrale di un foro di sondaggio ad una determinata profondità. Per una valutazione completa dello stato tensionale naturale di un ammasso roccioso è necessario eseguire almeno 3 prove doorstopper in altrettanti fori diversamente orientati.

4.2.4.2 Caratteristiche delle attrezzature

L'attrezzatura, che dovrà essere conforme a quanto previsto dal C.S.I.R. (South Africa Council of Scientific and Industrial Research), dovrà essere composta da:

- cella o rosetta estensimetrica tipo C.S.I.R. per la misura delle deformazioni, costituita da almeno 4 estensimetri elettrici applicati su di un supporto circolare a disco dello spessore di 0.625 mm, disposti a 45° l'uno dall'altro;
- strumento per la posa orientata della cella nel foro;
- centralina di misura degli spostamenti collegabile alla cella estensimetrica.

4.2.4.3 Modalità esecutive

La prova dovrà essere eseguita in fori inclinati verso l'alto o suborizzontali, in assenza d'acqua.

Il fondo del foro nel tratto nel quale si intende eseguire la misura dovrà essere privo di giunti o discontinuità; a tale proposito il fondo del foro dovrà essere ispezionato con sonda ottica televisiva.

La prova dovrà essere eseguita secondo la metodologia seguente:

- esecuzione di un foro a carotaggio integrale del diametro di 76 mm;
- regolarizzazione del fondo foro con apposita fresa a disco diamantata;
- preparazione del fondo foro con appositi solventi ed essiccazione con flusso d'aria compressa;
- montaggio della cella estensimetrica di misura in testa allo strumento di inserzione, con spalmatura del collante sulla superficie della cella che andrà a contatto con il fondo foro;
- inserimento nel foro della cella, applicandola sulla parete di fondo foro con una certa pressione da mantenere fino ad incollaggio avvenuto;
- esecuzione della lettura di zero degli estensimetri;
- approfondimento del foro mediante sovracarotaggio con carotiere a parete sottile e recupero a giorno della cella estensimetrica con la parte di roccia su cui è incollata;
- collegamento della cella alla centralina di misura per la misura degli spostamenti indotti dal rilascio tensionale conseguente al sovracarotaggio, da effettuare in condizioni di equilibrio

termico.

Le costanti elastiche della roccia, necessarie per il calcolo delle tensioni, potranno essere ricavate da una prova di compressione monoassiale con rilievo delle deformazioni assiali e diametrali, da eseguirsi in laboratorio su un campione della stessa roccia sottoposta alla prova doorstopper, oppure sottoponendo a prova con apposita pressa radiale la porzione di roccia con la cella estensimetrica.

4.2.4.4 Documentazione

La documentazione della prova dovrà comprendere:

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2.
- ubicazione, direzione ed immersione del sondaggio;
- metodo e diametro di perforazione;
- profondità della prova;
- descrizione della roccia nella sezione di prova;
- tabelle delle deformazioni degli estensimetri;
- descrizione della formulazione matematica interpretativa per il calcolo delle tensioni;
- tabelle con i valori di modulo di elasticità e di rapporto di Poisson utilizzati per i calcoli e modalità di prova con cui sono stati misurati;
- tabella dei valori dei tensori di sforzo calcolati e relativi intervalli di confidenza;
- tabella dei valori delle tensioni principali calcolate e relative orientazioni;
- documentazione fotografica del sito di prova, dell'attrezzatura di prova e delle fasi salienti della prova;
- relazione descrittiva delle attrezzature e delle modalità di prova.

4.2.5 DETERMINAZIONE DELLO STATO DI SOLLECITAZIONE NATURALE CON CELLA ESTENSIM. TRIASSIALE (TIPO C.S.I.R.O.)

4.2.5.1 Descrizione della prova

La prova consente di determinare lo stato tensionale in un ammasso roccioso attraverso la misura con cella estensimetrica triassiale delle deformazioni delle pareti di un foro pilota eseguito all'interno del foro di un sondaggio comunque inclinato, a seguito delle liberazione delle tensioni ottenuta mediante sovracarotaggio.

La prova con cella estensimetrica triassiale, diversamente dalla prova doorstopper, utilizza 3 rosette estensimetriche diversamente orientate, permettendo così il rilievo completo (triassiale) dello stato tensionale naturale di un ammasso roccioso con un'unica prova.

4.2.5.2 Normative e specifiche di riferimento

- ISRM Commission on Testing Methods (1987) - Suggested Methods for Rock Stress Determination Method 4: Suggested Method for Rock Stress Determination Using a CSIR- or CSIRO-Type Cell with 9 or 12 Strain Gauges

4.2.5.3 Caratteristiche delle attrezzature

L'attrezzatura dovrà essere composta da:

- carotiere del diametro di 36 ÷ 38 mm per l'esecuzione del foro pilota in cui inserire la cella triassiale;
- cella estensimetrica triassiale tipo C.S.I.R. o tipo C.S.I.R.O. per la misura delle deformazioni, dotata di 3 rosette estensimetriche diversamente orientate, ognuna composta da 4 estensimetri disposti a 45° l'uno dall'altro; la cella estensimetrica potrà essere parte di una apposita sonda dotata di serbatoio per il collante e di una punta centratrice, per un facile inserimento nel foro pilota;
- apposito strumento per l'alloggiamento della cella triassiale nel foro pilota, comprensivo delle relative aste di guida, in grado di controllare l'orientazione della cella nel foro;
- cavi elettrici di collegamento tra la centralina di misura in superficie e la cella estensimetrica triassiale;
- sistema ad aria compressa, dotato di centralina di superficie e relativa tubazione di collegamento con la sonda a fondo foro, per l'estrusione della resina sintetica necessaria per la cementazione della cella alle pareti del foro pilota nel caso di impiego di sonda;
- centralina portatile per la misura degli spostamenti, collegabile alla cella estensimetrica triassiale.

4.2.5.4 Modalità esecutive

Il fondo del foro nel tratto nel quale si intende eseguire la misura dovrà essere privo di giunti o discontinuità; a tale proposito il fondo del foro dovrà essere ispezionato con sonda ottica televisiva.

La prova dovrà essere eseguita secondo la metodologia seguente:

- esecuzione di un foro a carotaggio integrale di diametro variabile tra circa 120 e circa 150 mm

in funzione della attrezzatura impiegata;

- esecuzione dal fondo del foro di sondaggio di un foro pilota coassiale del diametro di $36 \div 38$ mm e di lunghezza adeguata all'alloggiamento della cella o della sonda estensimetrica triassiale impiegata;
- esame visivo della carota estratta, che dovrà essere priva di giunti o discontinuità nel tratto di misura; in caso contrario dovrà essere prolungato il carotaggio e dovrà essere eseguito un altro foro pilota a partire dal nuovo fondo foro;
- inserimento nel foro pilota della cella estensimetrica triassiale e incollaggio delle rosette estensimetriche sulle pareti del foro; nel caso di impiego di sonda estensimetrica l'incollaggio avverrà mediante estrusione ad aria compressa di resina sintetica da un serbatoio alloggiato nella sonda stessa; nel caso di impiego di una semplice cella estensimetrica triassiale, il collante dovrà essere preventivamente applicato alle rosette estensimetriche;
- asciugatura del collante per un periodo non inferiore a 12 ore;
- esecuzione della lettura di zero degli estensimetri;
- approfondimento del foro mediante sovracarotaggio con carotiere a pareti sottili di diametro adeguato all'attrezzatura impiegata;
- recupero a giorno della cella triassiale insieme con la carota di roccia in cui è inserita;
- collegamento della cella alla centralina di misura per la misura degli spostamenti indotti dal rilascio tensionale conseguente al sovracarotaggio, da effettuare in condizioni di equilibrio termico; in caso di impiego di cella estensimetrica triassiale tipo C.S.I.R.O. si effettuerà un monitoraggio continuo delle deformazioni durante le operazioni di sovracarotaggio.

La determinazione delle costanti elastiche della roccia, necessarie per il calcolo delle tensioni, potranno essere ricavate da una prova di compressione monoassiale con rilievo delle deformazioni assiali e diametrali, da eseguirsi in laboratorio su un campione della stessa roccia, oppure sottoponendo a prova con apposita pressa radiale la porzione di roccia contenente la cella estensimetrica.

4.2.5.5 Documentazione

La documentazione della prova dovrà comprendere:

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2.
- ubicazione, direzione ed immersione del sondaggio;
- metodo e diametro di perforazione;
- profondità della prova;
- descrizione della roccia nella sezione di prova;
- tabelle delle deformazioni degli estensimetri;
- descrizione della formulazione matematica interpretativa per il calcolo delle tensioni;
- tabelle con i valori di modulo di elasticità e di rapporto di Poisson utilizzati per i calcoli e modalità di prova con cui sono stati misurati;
- tabella dei valori dei tensori di sforzo calcolati e relativi intervalli di confidenza;
- tabella dei valori delle tensioni principali calcolate e relative orientazioni;
- documentazione fotografica del sito di prova, dell'attrezzatura di prova e delle fasi salienti della prova;
- relazione descrittiva delle attrezzature e delle modalità di prova.

4.2.6 PROVA DI FRATTURAZIONE IDRAULICA

4.2.6.1 Descrizione della prova

La prova consente la misura dello stato tensionale di un ammasso roccioso in un foro di sondaggio mediante la tecnica della fratturazione idraulica.

In particolare la prova consente in genere di determinare il valore e l'orientazione dello sforzo massimo e minimo agenti nel piano perpendicolare al foro. La direzione del foro viene generalmente assunta come una direzione di sforzo principale (assunzione valida nel caso di sondaggi verticali perforati dalla superficie, nel qual caso lo sforzo verticale viene calcolato moltiplicando il peso di volume della roccia per la profondità della sezione di prova).

A differenza delle altre prove (metodo C.S.I.R. doorstopper o metodo C.S.I.R.O. triassiale), questa prova consente di determinare lo stato di sollecitazione naturale anche a grandi profondità.

La prova consiste nell'isolare un tratto di foro attraverso due otturatori gonfiabili ad alta pressione (packer) e nell'incrementare la pressione idraulica pompando acqua a portata controllata, sino a raggiungere la fratturazione della parete del foro; si interrompe il pompaggio e si permette alla pressione di stabilizzarsi; la pressione del fluido viene quindi ridotta fino al livello della pressione idrostatica nell'ammasso roccioso. Tale processo di pressurizzazione viene ripetuto diverse volte mantenendo la stessa portata di prova. I valori degli stress principali vengono calcolati sulla base delle diverse letture di pressione. Viene rilevata anche l'orientazione della frattura in modo da determinare l'orientazione dello sforzo principale trasversale al foro.

Tra i metodi da utilizzarsi in un foro di sondaggio per la misura dello stato di sforzo questo, che può essere utilizzato in fori di qualsiasi diametro, consente di misurare gli sforzi agenti su di un'area molto più vasta (alcuni m², ovvero le dimensioni del fenomeno della fratturazione idraulica indotta) di quella usualmente consentita dalle tecniche di sovracarotaggio.

4.2.6.2 Normative e specifiche di riferimento

- ASTM D 4645 - Standard Test Method for Determination of the In-Situ Stress in Rock Using the Hydraulic Fracturing Method

4.2.6.3 Caratteristiche delle attrezzature

L'attrezzatura di prova dovrà essere costituita dai seguenti componenti:

- attrezzatura per l'abbassamento o il sollevamento dell'attrezzatura di prova all'interno del foro; possono essere utilizzate aste di perforazione oppure apposite aste di guida o cavi di acciaio, azionate da una sonda di perforazione o da un apposito treppiede;
- coppia di otturatori gonfiabili ad alta pressione (doppio otturatore o straddle packer), spazati di una distanza pari ad almeno 6 diametri, collegati meccanicamente ed idraulicamente;
- otturatore per il rilievo dell'impronta della frattura (impression packer), rivestito di un'apposita membrana di gomma sostituibile e dotato di un sistema per la misura dell'orientazione (ad es. bussola elettronica);
- pompa ad alta pressione (0-70 MPa, 0-25 l/min), per la pressurizzazione della sezione di prova e degli otturatori;
- aste di manovra (cave) o tubi flessibili resistenti alle alte pressioni (manichette), collegate ad

un'estremità alla pompa e all'altra estremità al doppio otturatore o alla sezione di prova;

- sistema per la misura della pressione (trasduttore di fondo foro oppure trasduttore superficiale), per il rilievo della stessa sino a 70 MPa;
- sistema per la misura della portata;
- sistema analogico o digitale di acquisizione dati pressione-tempo e portata-tempo.

L'utilizzo di attrezzature che non soddisfino, del tutto o in parte, i requisiti di cui sopra, dovrà essere preventivamente sottoposto ad approvazione da parte della Società

4.2.6.4 Preparazione del foro

La perforazione del foro di sondaggio dovrà essere eseguita in modo da garantire che la parete del foro sia il più possibile liscia e di forma uniformemente circolare: a tale proposito viene raccomandato l'uso di corone diamantate.

La sezione di prova dovrà essere costituita da roccia sana non fratturata e dovrà essere scelta dopo accurata osservazione delle carote estratte oppure dopo aver ispezionato l'interno del foro con una sonda televisiva.

4.2.6.5 Modalità esecutive

Una volta introdotto il doppio otturatore nel foro e calato sino alla profondità di prova, si dovrà gonfiarlo, pompando acqua attraverso una pompa ad alta pressione, fino a farlo aderire alla parete del foro.

Con il doppio otturatore ben aderente alla parete del foro, si dovrà pompare acqua nella sezione di prova ad una portata costante, stabilita in base alla permeabilità della roccia (per permeabilità elevate, portate elevate e viceversa), in modo da raggiungere la fratturazione idraulica in un minuto a partire dall'inizio dell'incremento di pressione. Durante la pressurizzazione della sezione di prova la pressione nel doppio otturatore dovrà essere sempre mantenuta più elevata di circa 2 MPa, in modo da evitare eventuali perdite. La pressione relativa all'innescio della fratturazione verrà indicata come pressione critica o di rottura (critical or breakdown pressure). Il pompaggio dell'acqua dovrà essere quindi interrotto e la pressione nella sezione di prova cadrà improvvisamente, stabilizzandosi quindi ad un livello inferiore corrispondente alla pressione di chiusura (shut-in pressure) della frattura.

Il procedimento descritto dovrà essere ripetuto altre due volte, registrando i corrispondenti valori di pressione di riapertura (o pressione di rottura secondaria) e di chiusura della frattura.

Durante l'intera prova dovranno essere registrati in funzione del tempo i valori di pressione e di portata relativi alla sezione di prova; tali valori dovranno quindi essere riportati su di un doppio grafico.

Alla fine della prova il doppio otturatore dovrà essere sgonfiato riportandolo al diametro originale. L'otturatore potrà quindi essere riportato in superficie oppure potrà essere posizionato in corrispondenza di una nuova sezione di prova.

Per il rilievo dell'impronta della frattura dovrà essere calato nel foro, in corrispondenza della sezione di prova, lo speciale otturatore (impression packer), che dovrà essere gonfiato ad una pressione più elevata della pressione di rottura (o di chiusura) secondaria: ciò assicura all'otturatore di aprire leggermente la frattura e permette alla membrana di gomma di prendere una buona impronta della frattura. Dopo un tempo variabile tra 30 e 60 minuti, l'otturatore può essere

sgonfiato e recuperato, registrando l'orientazione della frattura rispetto al nord.

4.2.6.6 Calcoli

Il calcolo delle tensioni principali nell'ammasso roccioso dovrà essere condotto tenendo conto dell'orientazione delle idrofratture, come previsto al punto 8 della Norma ASTM D 4645.

La resistenza a trazione della roccia, necessaria per la determinazione dello stato tensionale, potrà essere determinata con apposite prove di laboratorio (ad es. con la prova di trazione diretta o con la prova di trazione indiretta o prova brasiliana) da eseguirsi su campioni di roccia integra.

I valori di pressione riportati equivalgono a quelli registrati durante la prova se la misura delle pressioni viene effettuata con trasduttori di profondità; se viceversa la misura viene effettuata in superficie bisogna aggiungere ai valori misurati il valore del carico idraulico corrispondente alla colonna d'acqua presente (nei tubi) tra la superficie e la profondità di prova.

4.2.6.7 Documentazione

La documentazione di ciascuna prova dovrà comprendere:

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2.
- direzione ed immersione del sondaggio;
- metodo e diametro di perforazione;
- livello piezometrico della falda;
- profondità della sezione di prova;
- descrizione della roccia nella sezione di prova;
- caratteristiche della attrezzatura impiegata per la prova;
- descrizione della procedura di prova;
- grafici pressione/tempo e portata/tempo e descrizione dei metodi utilizzati per determinare P_s , P_f e P_r se tali valori non sono chiaramente determinabili dai grafici;
- tabelle dei valori di P_s , P_f , P_r e P_0 , dei valori calcolati degli sforzi orizzontali massimo s_{max} e minimo s_{min} e delle direzioni degli sforzi;
- rappresentazione grafica orientata degli sforzi principali;
- descrizione del metodo utilizzato per il calcolo di s_{max} ;
- eventuali risultati delle prove di resistenza a trazione (diretta o indiretta) di laboratorio;
- eventuali note ed osservazioni;
- copia del certificato di taratura del trasduttore di pressione di data non anteriore di un anno alla data di prova, qualora richiesto.

4.2.7 PROVA DILATOMETRICA

4.2.7.1 Descrizione della prova

La prova dilatometrica consiste nella determinazione delle caratteristiche di deformabilità di un ammasso roccioso in un foro di sondaggio ad una profondità prestabilita, mediante espansione di una sonda dilatometrica dotata di una membrana di gomma dilatabile e di trasduttori lineari di spostamento (LVDT) per il rilievo delle deformazioni indotte.

La prova, se ripetuta ad intervalli regolari (ad es. 1, 2 o 5 m) lungo la verticale di sondaggio, permette di ricostruire la variazione delle caratteristiche di deformabilità dell'ammasso roccioso con la profondità. La prova consente inoltre la determinazione, nel piano perpendicolare all'asse del dilatometro, della anisotropia delle caratteristiche di deformabilità dell'ammasso roccioso.

La prova è particolarmente indicata in ammassi rocciosi fortemente fratturati o di modesta qualità, caratterizzati da uno scarso recupero di carotaggio e che non consentono il prelievo di campioni adatti all'esecuzione di specifiche prove di laboratorio.

4.2.7.2 Normative e specifiche di riferimento

- ISRM Commission on Testing Methods (1987) - Suggested Methods for Deformability Determination Using a Flexible Dilatometer with Radial Displacement Measurements

La prova comunque dovrà essere condotta in accordo con quanto specificato nel seguito.

4.2.7.3 Caratteristiche delle attrezzature

L'attrezzatura di prova dovrà essere costituita dai seguenti componenti:

- tubo di calibrazione di proprietà elastiche note, con un diametro interno uguale a quello del foro di prova e di lunghezza simile alla lunghezza attiva della sonda;
- comparatore centesimale per la misura del diametro esterno della sonda dilatometrica, con una precisione non inferiore a ± 0.01 mm;
- sonda dilatometrica, di forma cilindrica, di diametro compreso tra 76 e 116 mm (generalmente 96 mm), della lunghezza di $1000 \div 1500$ mm, con una lunghezza efficace comunque compresa tra 5 e 15 volte il diametro; la sonda è costituita da un corpo in acciaio ricoperto da una membrana in gomma rinforzata, in modo da poter essere inserita nel foro di sondaggio senza essere danneggiata, ma anche abbastanza flessibile in modo da trasmettere non meno del 90% della pressione idraulica applicata;
- apposita attrezzatura per l'inserimento, l'abbassamento e il sollevamento della sonda all'interno del foro, in grado di misurare la sua posizione con una precisione di ± 5 cm; possono essere utilizzate aste di perforazione oppure apposite aste di manovra;
- sorgente di pressione (bombola d'azoto o pompa idraulica) e cavi di collegamento in grado di riempire, gonfiare e sgonfiare la sonda e di applicare e mantenere il range di pressioni richiesto;
- sistema di regolazione della pressione, in grado di mantenere costante la pressione applicata;
- sistema per la misurazione degli spostamenti, in grado di determinare il diametro del foro con una precisione di 1 mm, costituito da almeno 3 trasduttori di spostamento (LVDT) aventi fondo scala non inferiore a 25 mm, alloggiati su piani diversi nella parte centrale della sonda, disposti

in posizione diametrale a 60° (o 45° nel caso di 4 trasduttori) l'uno dall'altro e connessi mediante cavi elettrici ad un'unità di lettura superficiale;

- sistema per la misura della pressione, costituito da un trasduttore elettrico di pressione o da una coppia di manometri con fondo scala diverso (ad es. 1 MPa e 10 MPa), dotato di una precisione di lettura non inferiore a $\pm 2\%$ del range di pressione utilizzato per ogni prova;
- unità superficiale per la registrazione e l'elaborazione dei dati, collegata alla sonda dilatometrica, e dotata display per la visualizzazione sia delle variazioni di diametro della membrana (uno per ciascun trasduttore) che della pressione di espansione della membrana.

L'utilizzo di attrezzature che non soddisfino, del tutto o in parte, i requisiti di cui sopra, dovrà essere preventivamente sottoposto ad approvazione da parte della Società.

4.2.7.4 Preparazione del foro

Il foro di prova dovrà essere realizzato con la massima cura per garantirne la stabilità delle pareti, dato che eventuali frammenti di roccia che si incuneano tra la parete del foro e la sonda dilatometrica possono bloccare permanentemente quest'ultima.

Il diametro del foro dovrà essere adeguato all'attrezzatura impiegata e comunque non potrà essere più largo di 6 mm rispetto al diametro della sonda dilatometrica a riposo (ad es. $\varnothing = 101$ mm per una sonda $\varnothing = 95$ mm).

Si raccomanda di controllare l'interno del foro di prova con una camera televisiva, in modo da individuare fessure aperte o cavità che potrebbero danneggiare la membrana flessibile.

In caso di necessità di sostenere le pareti del foro è ammesso un rivestimento sino alla sezione superiore di prova oppure la cementazione del foro: in questo ultimo caso il carico idraulico della malta cementizia non dovrà mai essere superiore a 3 m, in modo da evitare l'iniezione della stessa nell'ammasso roccioso; il foro cementato dovrà essere quindi riperforato rispettando le tolleranze sopra specificate e in modo che il rivestimento di cemento abbia uno spessore inferiore a 1 mm.

4.2.7.5 Calibrazioni e controlli

L'attrezzatura completa dovrà essere controllata e calibrata prima di ogni serie di prove, almeno settimanalmente durante un programma di prove e comunque dopo ogni importante riparazione, come ad es. la sostituzione della membrana. Le operazioni di calibrazione dovranno essere eseguite con una lunghezza delle tubazioni pari a quella che sarà impiegata per le prove.

Con la sonda inserita nel tubo di calibrazione dovrà essere applicata la pressione massima di prova e dovrà essere effettuato un controllo riguardante il mantenimento e le perdite della pressione. La pressione dovrà quindi essere rilasciata e di nuovo incrementata secondo il range da utilizzarsi nella prova reale, prevedendo almeno 5 intervalli di pressione (MPa) e leggendo le deformazioni (mm) corrispondenti (le letture di deformazione ai 3 trasduttori dovranno essere mediate). Dovrà quindi essere plottata una curva pressione/dilatazione media e la sua pendenza M_m (MPa/mm) dovrà essere confrontata con l'espansione teorica del cilindro ottenuta dalla teoria elastica. I valori di deformazione conseguenti allo schiacciamento della membrana così determinati dovranno essere sottratti alle deformazioni misurate in fase di prova.

La sonda dovrà poi essere gonfiata in aria (senza confinamento) per determinare il fattore di correzione m per la rigidità della membrana (MPa/mm), ottenuta come la pendenza della curva pressione/dilatazione non confinata; i valori di pressione letti al manometro in fase di prova dovranno conseguentemente essere corretti per ricavare la pressione realmente applicata alle

pareti del foro.

Il sistema di misura dello spostamento dovrà essere controllato indipendentemente con un micrometro: all'interno del range di misura, la precisione totale dell'attrezzatura dovrà essere costante.

4.2.7.6 Modalità esecutive

Dopo aver controllato che il diametro del foro rispetti la tolleranza sopra specificata, si dovrà introdurre nel foro la sonda dilatometrica abbassandola fino a raggiungere la profondità stabilita per la prova: tale profondità dovrà essere misurata con una precisione di ± 5 cm e registrata.

La sonda dovrà quindi essere fatta espandere sotto una pressione appena sufficiente ad assicurarne il contatto permanente con la parete del foro senza che avvengano scorrimenti: tale pressione di alloggiamento dovrà essere la pressione minima durante la prova.

La prova dovrà essere condotta con almeno 3 cicli di carico/scarico con pressione massima progressivamente crescente fino ad un valore massimo che dovrà essere il più elevato possibile, compatibilmente con la pressione operativa di sicurezza dell'attrezzatura di prova.

In ogni ciclo la pressione dovrà essere aumentata in non meno di 5 incrementi approssimativamente costanti fino a raggiungere il valore massimo.

Ogni incremento di pressione deve essere mantenuto costante durante la lettura della pressione (MPa) e della corrispondente dilatazione del foro (mm). La presenza dei 3 trasduttori di spostamento a 120° permetterà la determinazione dei valori del modulo di deformazione in funzione della direzione.

Raggiunto il valore massimo di pressione si dovrà operare lo scarico portando la pressione al valore minimo di prova, leggendo le coppie pressione/dilatazione agli stessi intervalli di pressione utilizzati nella fase di carico.

Al fine di evidenziare eventuali comportamenti viscosi della roccia, nell'ultimo ciclo di carico la pressione massima raggiunta dovrà essere mantenuta costante fino alla completa stabilizzazione delle deformazioni, con registrazione ad intervalli di tempo opportuni, comunque non superiori a 5 minuti.

4.2.7.7 Calcolo del modulo dilatometrico

Il modulo dilatometrico secante E_d (MPa) dovrà essere calcolato per ogni ciclo di prova, sia in fase di carico che di scarico, secondo la seguente espressione:

$$E_d = (1 + \nu_R) D \frac{D_{p_i}}{DD}$$

dove:

D_{p_i} (MPa) = incremento di pressione all'interno del segmento considerato

DD (m) = dilatazione (deformazione diametrale) media del foro corrispondente

D (m) = diametro del foro di prova

ν_R (-) = rapporto di Poisson dell'ammasso roccioso

In particolare per ciascun ciclo dovranno essere determinati i seguenti moduli:

- modulo di primo carico, calcolato in fase di carico tra la massima pressione applicata nel ciclo precedente e la massima pressione del ciclo considerato;
- modulo di scarico, calcolato in fase di scarico tra la pressione massima e la pressione minima del ciclo considerato;
- modulo di ricarico, calcolato in fase di carico tra la pressione minima del ciclo in esame e la pressione massima del ciclo precedente;
- modulo di deformazione, calcolato in fase di carico tra la pressione minima di prova e la pressione massima del ciclo considerato.

I valori di deformabilità dovranno essere calcolati per ognuna delle tre direzioni di misura e come media, determinata sulla base della deformazione media del foro.

4.2.7.8 Documentazione

La documentazione di ciascuna prova dovrà comprendere:

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2.
- metodo, diametro di perforazione e tipo di fluido impiegato;
- localizzazione dei tratti di foro rivestiti o cementati;
- livello piezometrico della falda;
- profondità della sezione di misura;
- descrizione dell'ammasso roccioso nel tratto di prova, con particolare riguardo alle caratteristiche geomeccaniche delle discontinuità;
- caratteristiche della attrezzatura impiegata per la prova;
- metodo utilizzato per la calibrazione e risultati;
- tabelle con le letture registrate durante la prova, includendo i valori non corretti e quelli corretti;
- diagrammi pressione - dilatazione (deformazione diametrale) per ogni trasduttore;
- diagramma pressione - dilatazione media;
- diagramma polare (nel piano perpendicolare al foro) dei valori di dilatazione, in funzione della posizione del trasduttore e della pressione applicata;
- diagramma dilatazione-tempo a pressione costante relativo alla massima pressione applicata dei singoli trasduttori e della media dei trasduttori;
- schema di calcolo e relazioni matematiche per il calcolo dei moduli elastici e di deformabilità;
- tabelle riassuntive e grafici dei moduli elastici e di deformabilità calcolati;
- copia dei certificati di calibrazione del manometro o trasduttore di pressione e dei trasduttori di spostamento di data non anteriore di un anno la data della prova, qualora richiesti.

4.2.8 PROVA DI PERMEABILITÀ TIPO LUGEON

4.2.8.1 Descrizione della prova

La prova consiste nell'iniettare acqua in pressione entro un tratto isolato di foro di sondaggio in roccia e nel misurare i volumi assorbiti a diverse pressioni. La prova consente di misurare la permeabilità di un ammasso roccioso ed eventualmente ricavare l'assorbimento d'acqua espresso in Unità Lugeon.

La prova può essere eseguita in avanzamento, cioè con il procedere della perforazione, oppure in risalita, a fine perforazione. Nel primo caso si sottopone a prova il tratto terminale del foro, isolando la parte alta con un otturatore (packer) espandibile contro la parete del foro. Nel secondo caso il tratto di prova viene scelto a piacimento lungo tutta l'altezza del foro, ma deve essere isolato sia verso l'alto che verso il basso con un doppio otturatore.

4.2.8.2 Normative e specifiche di riferimento

- AGI Associazione Geotecnica Italiana (1977) - Raccomandazioni sulla Programmazione ed Esecuzione delle Indagini Geotecniche

4.2.8.3 Caratteristiche delle attrezzature

L'esecuzione della prova richiede l'attrezzatura elencata di seguito:

- otturatore singolo, per prove in avanzamento, costituito da un tubo metallico sul quale è applicata una membrana di gomma gonfiabile (con liquido o gas) contro la parete del foro; per una buona tenuta dell'otturatore, la pressione di gonfiaggio deve essere superiore di $0.2 \div 0.3$ MPa a quella di iniezione dell'acqua;
- otturatore doppio, per prove in risalita; il tubo di collegamento dei due otturatori, che fornisce acqua alla camera di iniezione, deve essere tale da avere una superficie forata $A_f \geq 2 A_t$, essendo A_t la superficie della sezione cava del tubo;
- pompa centrifuga in grado di raggiungere pressioni di iniezione almeno pari a 1 MPa con portate elevate;
- contalitri, inserito nel circuito di mandata della pompa, per la misura delle portate immesse, con precisione di 0.1 l;
- manometro per la misura della pressione di iniezione, con precisione di 0.05 MPa e fondo scala pari a $1.2 \div 1.5$ MPa;
- tubazioni idrauliche di adduzione dell'acqua nel tratto di prova; a sezione interna costante; potranno essere tubazioni continue in gomma con anima interna in acciaio, aste di perforazione a sezione costante o tubi metallici lisci ad uso idraulico; in tal caso le giunzioni tra gli spezzoni dovranno avvenire tramite manicotti filettati esterni, tali da ridurre al minimo irregolarità e variazioni di diametro interno. La Società si riserva di chiedere la verifica sperimentale delle perdite di carico, secondo la procedura descritta nel paragrafo seguente.
- eventuale circuito indipendente di misura delle pressioni (trasduttore di pressione inserito nella camera di iniezione).
- eventuale manometro addizionale per la misura della pressione durante la fase di calibrazione, se richiesta;

- eventuale trasduttore di pressione (e relativo cavo di alimentazione collegato alla superficie), inserito all'interno della camera di espansione, se richiesto.

4.2.8.4 Calibrazioni

Il contalitri dovrà essere tarato in sito, prima di iniziare le prove, riempiendo un contenitore di volume noto e superiore a 100 l.

In assenza di un circuito indipendente di misura della pressione (ad esempio tramite trasduttore inserito direttamente nella camera di espansione), quando richiesto dalla Società dovranno essere valutate le perdite di carico nei tubi di adduzione, con il metodo del tubo campione:

- una serie di spezzoni di tubo (o aste) a fuoriuscita finale libera vengono montati orizzontalmente in superficie, e collegati alla pompa con l'interposizione di un manometro, montato all'inizio della tubazione da calibrare;
- applicando un flusso costante ad un determinato valore di portata Q si misura al manometro la pressione p corrispondente;

Si calcolerà la perdita di carico unitaria (p_c) corrispondente alla portata Q, data da:

$$p_c = p/l \quad [\text{MPa/m}]$$

dove

p = pressione al manometro [MPa]

l = lunghezza della tubazione aperta [m].

La prova sarà ripetuta per almeno tre valori della portata Q, ottenendo una curva $P_c = f(Q)$. All'occorrenza, in presenza di aste a sezione interna variabile, ogni prova dovrà essere ripetuta per diversi valori della lunghezza totale l, comparabili alla profondità di prova richiesta.

La verifica sperimentale delle perdite di carico è raccomandata per prove eseguite a profondità elevata.

4.2.8.5 Modalità esecutive

Se non diversamente richiesto dalla Società o dalla Società, le prove si eseguiranno in avanzamento con otturatore singolo.

4.2.8.5.1 *Prova in avanzamento*

L'otturatore dovrà essere calato nel foro dopo aver misurato il livello della falda (stabilizzata) nel foro di sondaggio con sonda piezometrica.

Il foro dovrà essere privo di rivestimento; il fluido di perforazione dovrà essere costituito da sola acqua priva di additivi.

L'otturatore sarà espanso ad isolare il tratto finale del foro per una lunghezza $L \geq 5 D$, dove L è la lunghezza del tratto di foro isolato e D è il diametro del foro: in genere la lunghezza del tratto da provare varia da meno di 1 m a 5 m, a seconda della permeabilità dell'ammasso roccioso.

Si procederà ad iniettare acqua nel tratto di prova, eseguendo almeno tre diversi gradini di pressione in salita e ripetendo gli stessi primi due gradini in discesa.

Ciascun gradino di portata, in salita o in discesa, sarà mantenuto per almeno 10 minuti (20 minuti all'occorrenza, quando richiesto) dopo il raggiungimento della stabilizzazione degli assorbimenti

(regime di equilibrio). La costanza della portata deve essere controllata e registrata ogni 2 minuti e le variazioni a pressione costante non devono essere superiori a 0.1 l/s.

La scelta dei valori dei gradini di pressione dipenderà dal tipo di ammasso roccioso e dagli specifici obiettivi progettuali delle prove, a discrezione della Società. Non si supereranno comunque valori di 1 MPa, e solo nei casi di elevata resistenza meccanica dell'ammasso roccioso. In condizioni di prova a scarsa profondità e in ammassi rocciosi poco resistenti è preferibile non superare pressioni di 0.3 MPa; pressioni di 0.5 MPa sono usuali in ammassi rocciosi mediamente resistenti. e in ammassi rocciosi poco resistenti.

La tabella seguente propone alcuni esempi di riferimento.

GRADINI DI PRESSIONE PER PROVE LUGEON

<i>condizioni di prova</i>	<i>gradini di pressione [MPa]</i>
ammassi rocciosi poco resistenti, a profondità inferiori a 5 m da p.c.	0.05 - 0.15 - 0.25 - 0.15 - 0.05
ammassi rocciosi poco resistenti	0.1 - 0.2 - 0.3 - 0.2 - 0.1
ammassi rocciosi mediamente resistenti	0.1 - 0.3 - 0.5 - 0.3 - 0.1
ammassi rocciosi molto resistenti	0.2 - 0.4 - 0.8 - 0.4 - 0.2

Quando richiesto il numero dei gradini di carico/scarico potrà essere maggiore di 3, fino a un massimo di 5.

Durante la prova si provvederà a mantenere pieno di acqua il foro di sondaggio, per osservare la perfetta tenuta idraulica dell'otturatore. Nel caso di perdite, cioè di passaggio d'acqua dalla camera di iniezione al foro sovrastante, segnalato da un innalzamento del livello d'acqua nel foro, la prova sarà interrotta e ripresa dopo i necessari interventi correttivi.

Qualora lo stato di fratturazione dell'ammasso roccioso fosse tale da non assicurare la tenuta dell'otturatore, le prove saranno eseguite in avanzamento previa cementazione e riperforazione del tratto di foro al di sopra del tratto di prova, in modo da creare una superficie adatta ad impedire perdite idriche.

4.2.8.5.2 Prova in risalita

Se richiesto e/o autorizzato dalla Società, le prove potranno essere eseguite con otturatore doppio in risalita, con modalità identiche a quanto descritto al precedente paragrafo.

Particolare cura dovrà essere posta nel garantire la tenuta del doppio otturatore, per il quale risulta più complesso localizzare eventuali perdite di fluido durante la prova.

4.2.8.6 Restituzione e calcoli

Nella restituzione della prova si traccia il grafico con le portate Q (calcolate a t=10 min) in ordinate [l/min] e le pressioni p in ascissa [MPa], unendo i punti per ciascun gradino in andata e in ritorno.

La pressione (p) da graficare sarà quella corretta, così definita:

$$p = p_m + g_w h - p_c$$

dove: p_m = pressione letta al manometro

g_w = densità dell'acqua
 h = distanza verticale tra il manometro ed il livello statico della falda
 p_c = perdita di carico nel circuito

Laddove possibile occorrerà ricavare l'Unità Lugeon, (o all'Assorbimento Unitario d'acqua alla pressione di 1 MPa), espresso in l/min/m, laddove:

- 1 Unità Lugeon (UL) = portata di 1 l/min. iniettata alla pressione di 1 MPa, per la durata di 10 minuti, in un tratto di foro di 1 m di lunghezza.

L'Unità Lugeon andrà determinato utilizzando il grafico suddetto, prolungando il ciclo di carico/scarico fino alla pressione di 1 MPa e leggendo il corrispondente valore di portata Q_{UL} . Tale valore andrà diviso per lo spessore b del tratto di prova. Nel caso, molto comune nella pratica, che il ciclo non sia rettilineo, si prolungherà il tratto iniziale rettilineo passante per l'origine e tangente alla curva di carico.

Qualora l'Unità Lugeon non sia correttamente determinabile, ciò andrà riportato in apposita nota nel modulo di prova.

Andrà inoltre calcolata la permeabilità k [m/s], in accordo alla formula seguente:

$$k = \frac{Q}{p} \cdot \frac{g_w}{C}$$

dove: Q (m³/s) = portata
 p (kPa) = pressione corretta
 g_w (kN/m³) = peso di volume dell'acqua
 C (m) = coefficiente di forma, calcolato in relazione alle caratteristiche geometriche del tratto di prova (v. raccomandazioni AGI)

NOTA: in presenza di prova Lugeon eseguita in foro orizzontale la pressione corretta da inserire nella suddetta formula va sottratta del valore di pressione neutra u_0 corrispondente all'altezza del battente d'acqua presente a fondo foro. Tale valore di u_0 andrà determinato ipotizzando la quota di falda corrispondente sulla base di dati piezometrici attendibili o, eventualmente, con l'ausilio di un trasduttore di pressione che dovrà misurare la pressione all'interno della camera di espansione in condizioni naturali di equilibrio.

I valori di permeabilità andranno calcolati per tutti i valori di Q (calcolati per $t = 10$ min) relativi a ogni gradino di carico/scarico e per la portata corrispondente all'Unità Lugeon, laddove identificata.

In un tabulato saranno riportate, per ogni gradino di pressione, la portata a $t = 10$ min, la pressione misurata, la perdita di carico (se calcolata), la pressione corretta, la permeabilità k , ed eventualmente il valore di assorbimento unitario corrispondente all'Unità Lugeon.

4.2.8.7 Documentazione

La documentazione relativa a ciascuna prova dovrà comprendere:

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2.
- metodo e diametro di perforazione;
- livello piezometrico della falda;

MSQX-MSD-Rev0

La sola edizione controllata del documento è quella diffusa attraverso la rete informatica.

Tutte le copie disponibili su carta o su qualsiasi altro supporto, escluso l'originale, non sono soggette a controllo e il loro stato di aggiornamento deve essere verificato prima dell'uso.

- profondità del tratto di prova;
- descrizione della roccia nel tratto di prova;
- caratteristiche della attrezzatura impiegata per la prova (pompa, manometro, contatore, packer, aste di collegamento);
- schema della geometria del foro e delle modalità di prova;
- tabulato delle letture di cantiere (tempi - ogni 2 minuti, litri, pressioni al manometro);
- tabulato con tutti i valori calcolati per ogni gradino di pressione (portata, pressione misurata, perdita di carico, pressione corretta, permeabilità k, Unità Lugeon);
- grafico delle portate o portate unitarie (l/min o l/min/m) in funzione delle pressioni corrette (MPa), per ciascun gradino in andata e in ritorno;
- eventuale certificato di calibrazione delle perdite di carico relativo alla strumentazione utilizzata;
- copia del certificato di taratura del manometro o del trasduttore di pressione di data non anteriore a sei mesi dalla data di prova, qualora richiesto.

4.3 INDAGINI E PROVE GEOMECCANICHE SU AFFIORAMENTO ROCCIOSO O IN GALLERIA

4.3.1 RILIEVO GEOMECCANICO DI DETTAGLIO

4.3.1.1 Generalità

Il rilievo geomeccanico di dettaglio consiste nella accurata descrizione geomeccanica di un ammasso roccioso attraverso la misura delle caratteristiche delle discontinuità o giunti, secondo una determinata procedura.

I risultati di un rilievo geomeccanico consentono di individuare, attraverso una elaborazione statistica dei dati, il numero delle famiglie di giunti presenti nell'ammasso roccioso e le caratteristiche geomeccaniche medie di ogni famiglia, e permettono la classificazione geomeccanica dell'ammasso roccioso e la valutazione preliminare dei suoi parametri di resistenza e deformabilità.

4.3.1.2 Normative e specifiche di riferimento

- ISRM Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests (1978) - Suggested Methods for the Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses

L'Impresa dovrà in ogni caso attenersi a quanto di seguito specificato.

4.3.1.3 Caratteristiche delle attrezzature

L'attrezzatura minima per l'esecuzione di un rilievo geomeccanico dovrà essere costituita da:

- bussola geologica tipo CLARK, per la misura dell'orientazione dei giunti nello spazio (immersione e inclinazione);
- bindella metrata di lunghezza pari ad almeno 20 m;
- chiodi in acciaio armonico con sezione ad U, per il fissaggio della bindella alla parete di roccia;
- sclerometro da roccia tipo L (martello Schmidt), per la misura della resistenza della superficie dei giunti;
- profilografo a pettine (pettine di Barton), per il tracciamento dei profili di rugosità dei giunti;
- lamina o disco di alluminio, per l'appoggio della bussola su superfici di giunto ondulate;
- penetrometro e/o scissometro tascabile, per la determinazione della resistenza di materiali di riempimento coesivi;
- spessimetro a lamelle e calibro, per la misura dell'apertura dei giunti;
- HCl diluito al 5%, per la classificazione di rocce carbonatiche;
- martello da geologo, mazzetta e scalpello, per il prelievo di campioni di roccia dall'affioramento;

4.3.1.4 Modalità esecutive

Il rilievo geomeccanico di dettaglio dovrà essere eseguito da uno o più geologi dotati di specifico addestramento e sufficiente esperienza utilizzando la moduliistica specifica fornita dalla Società.

La stazione di misura dovrà essere scelta in corrispondenza di un affioramento dell'ammasso roccioso le cui condizioni geomeccaniche, che dovranno essere omogenee, risultino rappresentative per il problema in esame. I risultati dei rilievi geomeccanici permetteranno di caratterizzare diverse unità geomeccaniche omogenee, separate tra loro da cambiamenti nella litologia o da zone di debolezza (faglie, shear zones, ecc.).

Il rilievo verrà eseguito dopo aver individuato sull'affioramento roccioso da rilevare una o più linee, la cui lunghezza dovrà essere tale da intercettare almeno un centinaio di giunti o discontinuità. Le linee dovranno essere preferibilmente ortogonali tra loro, in modo da permettere una descrizione tridimensionale dell'ammasso roccioso.

Dovrà essere quindi eseguita una accurata descrizione litologica e strutturale dell'ammasso roccioso, descrivendone anche grado di alterazione e condizioni di umidità.

Inoltre dovranno essere specificate le dimensioni e la giacitura del fronte di misura, la giacitura media del pendio e le giaciture delle diverse linee di misura.

Per ogni giunto che intersechi una linea di misura verranno definiti:

- n° linea di misura;
- tipo di giunto (piano di strato, scistosità, frattura, faglia, ecc.);
- distanza dall'origine della linea (cm), da rilevare con bindella metrata fissata al fronte di misura;
- immersione e inclinazione (°), da rilevare con bussola da geologo;
- tipo di terminazione, da esprimere ad esempio con una coppia di lettere (xx, xd, xr, ecc.), che identifichino la natura delle terminazioni laterali del giunto (dove x=limite dell'affioramento, d=discontinuità, r=roccia);
- persistenza lineare, da esprimere in percentuale (%) o in lunghezza del giunto (m);
- apertura (mm), da misurare con calibro o spessimetro;
- grado di alterazione della superficie del giunto, da esprimere qualitativamente;
- resistenza a compressione della superficie del giunto JCS (Joint Wall Compressive Strength) (MPa), da misurare con sclerometro da roccia tipo L (martello Schmidt);
- rugosità a grande scala, da esprimere qualitativamente, dopo confronto con la tabella di riferimento ISRM, con una classe di appartenenza (da I a IX);
- rugosità a piccola scala, da rilevare con il profilografo a pettine e da esprimere, dopo confronto con la tabella di riferimento ISRM, con un valore di JRC (da 0 a 20);
- tipo di riempimento (coesivo, non coesivo, assente, ecc.), suo spessore (mm) ed eventuale resistenza, misurata con penetrometro o scissometro tascabile (kPa).
- grado di umidità

L'affioramento roccioso oggetto del rilievo geomeccanico di dettaglio dovrà essere documentato da fotografie a colori di insieme, dove siano chiaramente visibili le tracce degli stendimenti, e da particolari in cui siano evidenti le principali famiglie di giunti.

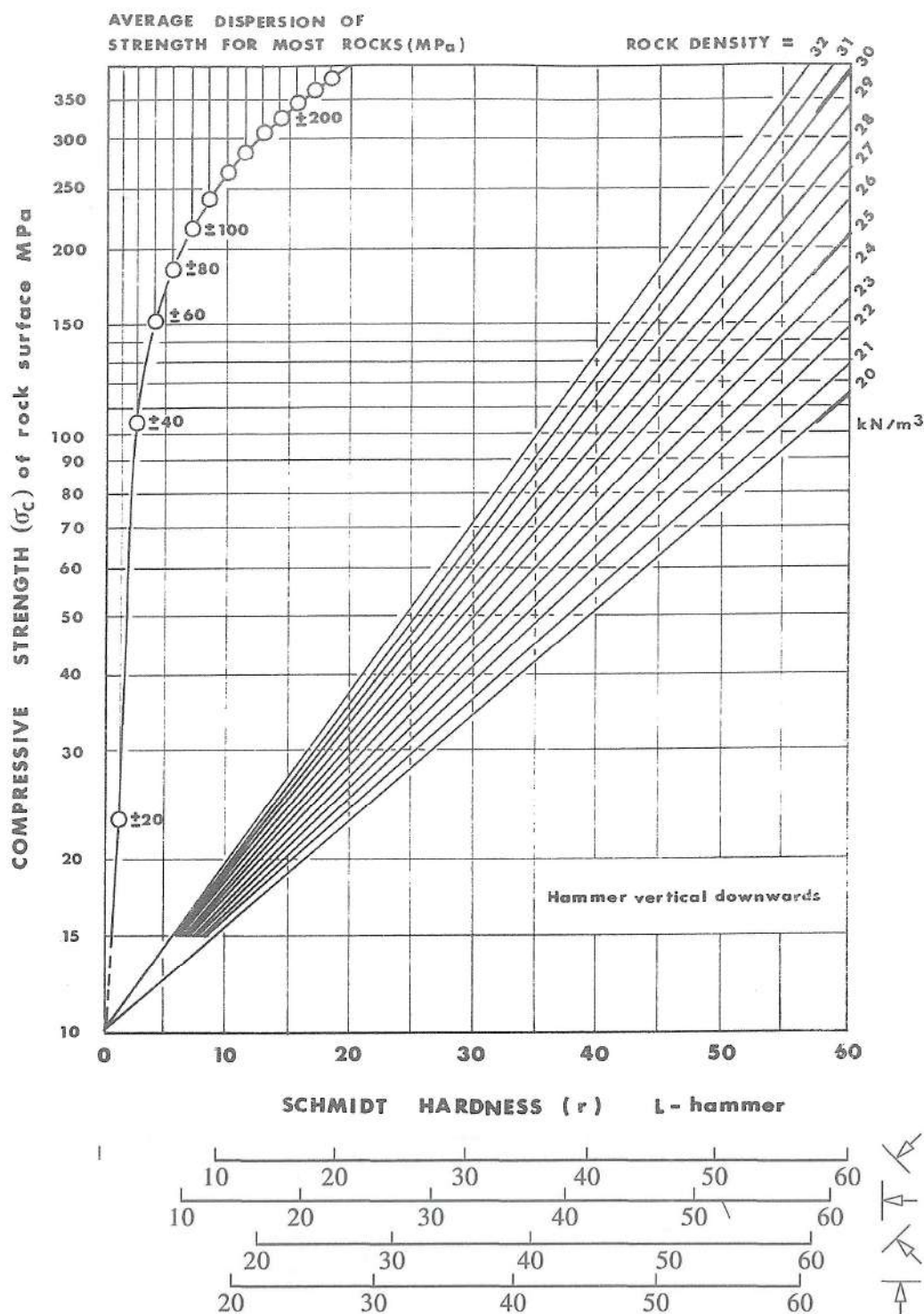


Grafico per la determinazione della resistenza a compressione della superficie del giunto JCS; con le correzioni per l'orientazione del martello (ISRM, 1978, modificato)

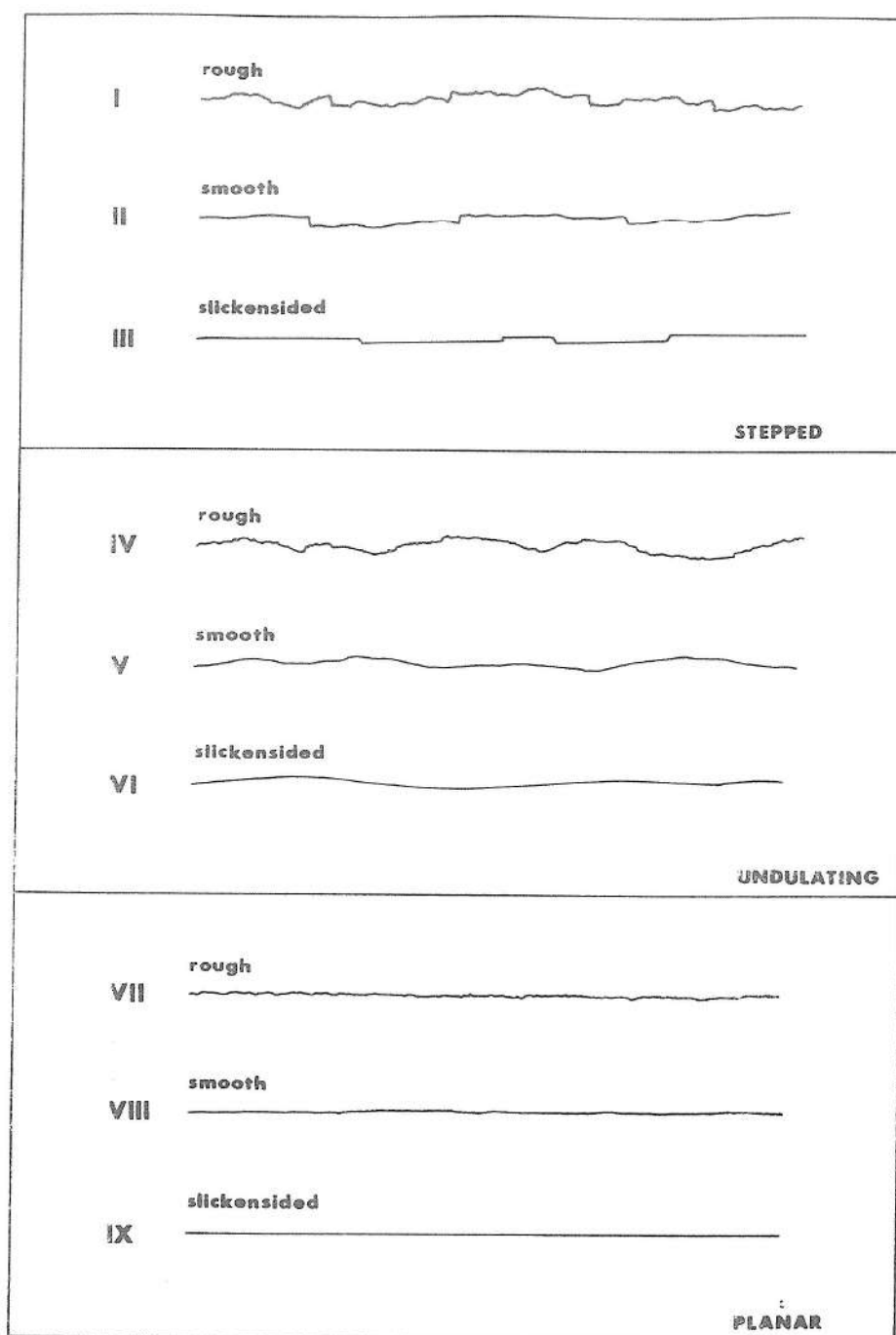


Tabella di confronto della rugosità a grande scala (ISRM, 1978)

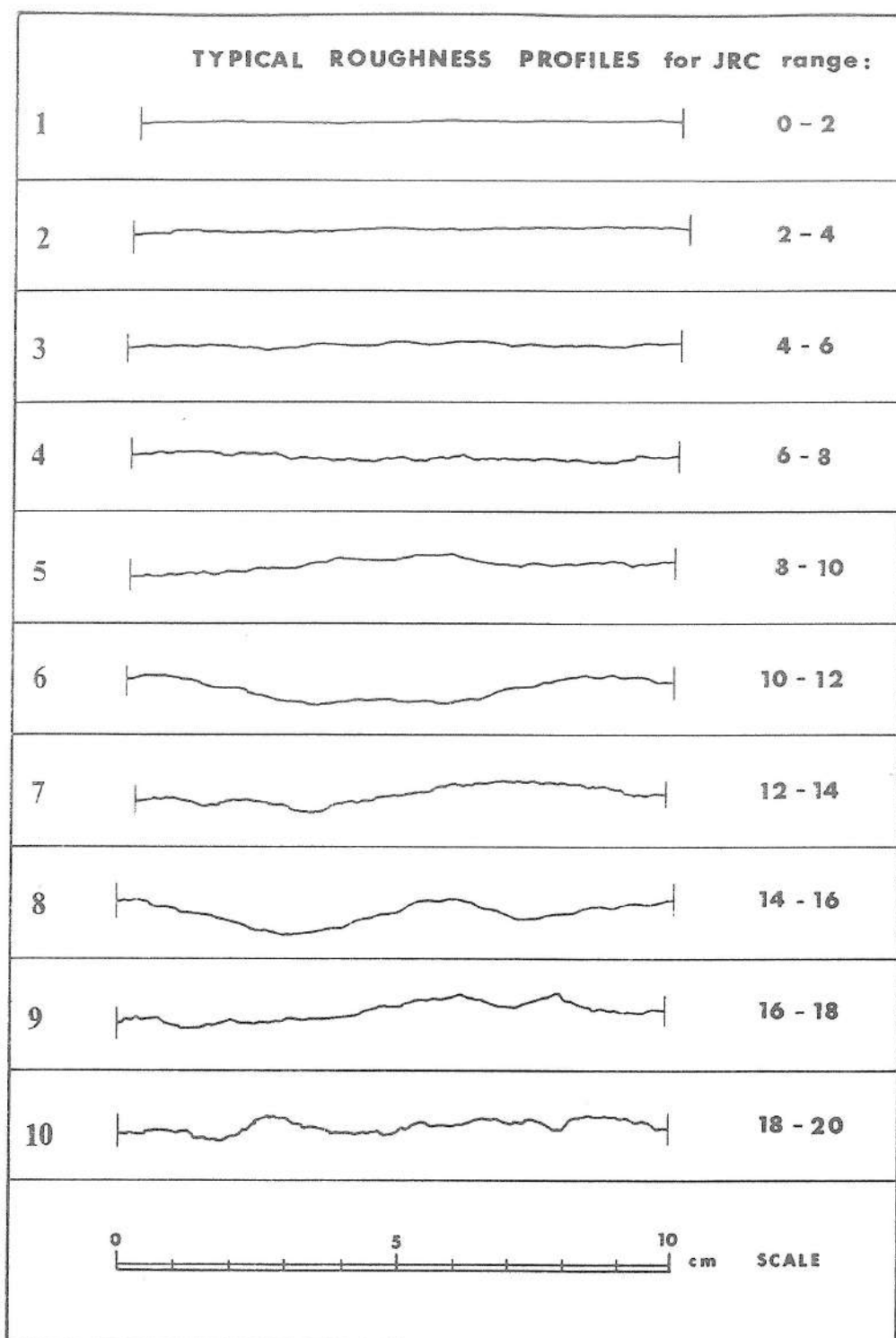


Tabella di confronto della rugosità a piccola scala, per la determinazione del JRC (ISRM, 1978).

4.3.1.5 Documentazione

La documentazione minima, in forma di relazione, dovrà comprendere:

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2.
- ubicazione plano-altimetrica della stazione di misura, con perimetrazione dell'affioramento ed indicazione delle linee di misura;
- documentazione fotografica;
- tabelle con i dati rilevati in sito;
- descrizione della procedura seguita per il rilievo geomeccanico;
- proiezione stereografica dei dati di giacitura di tutte le discontinuità rilevate, attraverso rappresentazione dei poli e tracciamento delle curve di uguale densità (%);
- proiezione dei poli e dei grandi cerchi rappresentativi delle diverse famiglie di giunti, individuate attraverso la determinazione, per ogni famiglia, del baricentro della distribuzione dei poli;
- istogrammi, relativi ad ogni famiglia di giunti, della distribuzione delle caratteristiche geomeccaniche (spaziatura, persistenza, apertura, riempimento, alterazione, JCS, rugosità a grande scala e JRC);
- tabella di sintesi con le caratteristiche geomeccaniche generali dell'ammasso roccioso e le caratteristiche geomeccaniche medie di ogni famiglia di giunti, incluso il valore di angolo di attrito del giunto, calcolato secondo l'equazione empirica di Barton per un valore di sforzo normale di riferimento, il valore di intercetta dei giunti, il numero di giunti per metro cubo d'ammasso (J_v) e il valore di resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta, stimato con prove con sclerometro da roccia tipo L su porzioni integre ed inalterate dell'ammasso.

4.3.2 PROVA CON MARTINETTO PIATTO

4.3.2.1 Descrizione della prova

La prova consiste nell'inserire un martinetto piatto in una fessura praticata perpendicolarmente al fronte di un ammasso roccioso e farlo espandere fino a riportare la roccia circostante nelle condizioni tensionali precedenti lo scavo della fessura, misurando lo sforzo necessario. Dalla misura dei valori di sforzo e deformazione, anche su più cicli, si ricavano lo stato di sollecitazione esistente alla superficie dell'ammasso roccioso in direzione normale al taglio e le sue caratteristiche di deformabilità.

Qualora si volesse definire completamente il campo tensionale esistente nell'ammasso roccioso, in particolare alle pareti di uno scavo in galleria, è necessaria l'esecuzione di almeno 6 prove diversamente orientate: tre orientate a 45° lungo una sezione, per es. ai piedritti, altre tre con la medesima orientazione lungo una sezione differente (per es. in calotta).

La prova viene eseguita generalmente all'interno di cavità sotterranee (fori pilota, cunicoli esplorativi, ecc.).

4.3.2.2 Normative e specifiche di riferimento

- ASTM D 4729 - Standard Test Method for In Situ Stress and Modulus of Deformation Using the Flatjack Method

Tenuto conto delle dimensioni dei martinetti piatti di uso comune in Italia e considerando preferibile l'esecuzione del taglio di prova con attrezzatura che permetta l'inserimento del martinetto piatto senza dover ricorrere alla successiva cementazione, la prova dovrà essere eseguita in conformità a quanto riportato nel seguito.

L'eventuale utilizzo di attrezzature e modalità di prova diverse da quelle riportate dovrà essere sottoposto a preventiva autorizzazione della Società.

4.3.2.3 Caratteristiche delle attrezzature

L'attrezzatura dovrà comprendere:

- sega circolare con disco diamantato, dotata di un sistema per il fissaggio alla parete e di una asta di guida per la realizzazione della fessura di prova; lo spessore del disco diamantato dovrà essere scelto in funzione dello spessore del martinetto piatto da alloggiare nella fessura;
- martinetto piatto, costituito da due lamine di acciaio saldate lungo il perimetro tra le quali viene immesso olio in pressione, in grado di consentire una deformazione pressoché parallela delle due lamine; lo spessore del martinetto dovrà essere compreso tra 4 e 6 mm in funzione della pressione massima applicabile durante la prova; la forma potrà essere quadrata o rettangolare (con dimensioni minime pari ad almeno 400 x 200 mm), oppure 'semicircolare' (con dimensioni di 350 x 260 mm);
- manometro o coppia di manometri con diverso fondo scala per la lettura della pressione, in grado di garantire una precisione di 0.1 MPa, o in alternativa trasduttore di pressione di medesima precisione ;
- pompa idraulica per la messa in pressione del martinetto, in grado di mantenere la pressione costante per almeno 5 minuti;

- tubazione idraulica di collegamento;
- serie di basi di misura ed estensimetro meccanico rimovibile oppure trasduttori elettrici di spostamento, con una precisione minima di 0.01 mm.

L'utilizzo di un'attrezzatura diversa da quella specificata dovrà essere sottoposto a preventiva autorizzazione da parte della Società.

4.3.2.4 Modalità esecutive

Le modalità di prova saranno le seguenti:

- rilievo dei caratteri geomeccanici della parete da sottoporre a prova, al fine di individuare eventuali anisotropie dell'ammasso roccioso e di permettere la scelta della direzione più opportuna di esecuzione del taglio;
- installazione sulla parete di almeno 12 basi di misura, disposte simmetricamente (6 per ogni lato) rispetto alla linea sulla quale si eseguirà il taglio, secondo 3 sezioni di misura ortogonali alla direzione di taglio, di cui una centrale e le altre due laterali e alla stessa distanza dalla prima (ad es. a $L/4$, dove L è la dimensione maggiore del martinetto); la distanza delle basi di misura dalla linea di riferimento invece potrà essere pari a $L/2$ e a $L/4$: ad es. per un martinetto di dimensioni 40 x 20 cm le basi di misura potranno essere disposte simmetricamente rispetto alla linea di riferimento ad una distanza di 10 cm e 20 cm e la distanza tra le sezioni di misura potrà essere di 10 cm;
- misura delle distanze reciproche tra le basi installate, in corrispondenza delle diverse sezioni;
- scavo di un taglio piano, normale alla parete, equidistante dalle basi di misura, di dimensioni tali da alloggiare il martinetto piatto; il taglio dovrà essere eseguito utilizzando una sega dotata di disco diamantato munita di un apposito telaio di guida, parallelo alla direzione di taglio;
- misura della distanza tra le basi e registrazione dello spostamento delle stesse dopo l'esecuzione del taglio e del conseguente rilascio tensionale; la misura dovrà poi essere ripetuta ad intervalli regolari fino al raggiungimento della massima deformazione (creep);
- inserimento del martinetto piatto;
- dilatazione del martinetto, con gradini di carico di 0.5 MPa, fino ad annullare per intero lo spostamento delle basi dovuto al taglio, annotando i diversi gradini di carico applicati ed i relativi spostamenti delle basi, fino a raggiungere il carico a cui corrisponde il ripristino della distanza tra le basi di misura che esisteva prima dell'esecuzione del taglio; il carico massimo andrà mantenuto per 15 minuti in modo da misurare la deformazione di creep, leggendo le deformazioni delle basi ogni 5 minuti; il carico deve quindi essere riportato a zero seguendo gli stessi gradini utilizzati precedentemente (decrementi di 0.5 MPa) e leggendo le deformazioni delle basi corrispondenti; anche la pressione nulla andrà tenuta per 15 minuti, leggendo le deformazioni delle basi ogni 5 minuti;
- esecuzione di almeno altri 2 cicli di prova a pressione crescente impiegando almeno 10 uguali incrementi tensionali per ciascun ciclo fino alla massima pressione raggiungibile, funzione del tipo di martinetto impiegato, delle caratteristiche di resistenza della roccia e della pressione di cancellazione registrato nel primo ciclo.

4.3.2.5 Documentazione

La documentazione della prova dovrà comprendere:

MSQX-MSD-Rev0

La sola edizione controllata del documento è quella diffusa attraverso la rete informatica.

Tutte le copie disponibili su carta o su qualsiasi altro supporto, escluso l'originale, non sono soggette a controllo e il loro stato di aggiornamento deve essere verificato prima dell'uso.

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2.
- descrizione litologica e geomeccanica dell'ammasso roccioso con documentazione fotografica;
- descrizione e specifiche tecniche delle attrezzature utilizzate e relativa documentazione fotografica;
- tabelle delle letture originali (deformazioni, pressioni, tempi);
- grafico carico/deformazione;
- valore dello stato di sollecitazione misurato e del modulo di deformabilità;
- determinazione completa del tensore degli sforzi nel caso di esecuzione di almeno 6 prove diversamente orientate;
- metodo di calcolo adottato e fattori correttivi introdotti per la determinazione dello stato di sforzo e del modulo di elasticità;
- documentazione fotografica delle varie fasi della prova;
- copia del certificato di taratura dei manometri o traduttore di pressione e degli estensimetri rimovibili di data non anteriore di un anno alla data di prova, qualora richiesto.

4.3.3 PROVA DI CARICO SU PIASTRA (PIASTRA RIGIDA)

4.3.3.1 Descrizione della prova

La prova consente di determinare le caratteristiche di deformabilità di un ammasso roccioso in sito attraverso l'utilizzo del metodo della piastra rigida. Tale prova viene realizzata generalmente in gallerie o cunicoli esplorativi, di diametro compreso tra 2 e 4 m, spianando due superfici diametralmente opposte e caricandole con delle piastre rigide sfruttando un sistema di contrasto centrale.

4.3.3.2 Normative e specifiche di riferimento

- ASTM D 4394 - Standard Test Method for Determining the In Situ Modulus of Deformation of Rock Mass Using the Rigid Plate Loading Method

L'Impresa dovrà in ogni caso attenersi a quanto di seguito specificato.

4.3.3.3 Caratteristiche delle attrezzature

L'attrezzatura di prova dovrà comprendere:

- attrezzatura di scavo e perforazione della roccia, adeguata alle necessità di preparazione delle aree di carico e alla realizzazione dei fori per l'installazione degli estensimetri; l'esplosivo non è ammesso nelle fasi finali della preparazione delle aree di carico;
- sistema per la misura delle deformazioni, costituito da due estensimetri multibase da foro per la misura delle deformazioni all'interno dell'ammasso roccioso, da installare in posizione diametralmente opposta nel cunicolo in corrispondenza del centro delle due aree di carico, da un distometro per la misura del diametro del cunicolo e da comparatori per le misure di deformazione superficiale; la precisione richiesta per gli strumenti è di 0.001 mm; errori superiori a 0.01 mm possono rendere la prova non valida in presenza di ammassi rocciosi con moduli superiori a 3.5×10^4 MPa;
- sistema per l'applicazione del carico costituito da un martinetto idraulico, collegato all'attrezzatura di contrasto;
- cella di carico per la lettura del carico sulla piastra rigida, con una precisione di 5 kN oppure manometro o trasduttore di pressione per la lettura della pressione nel martinetto, con una precisione di 0.2 MPa;
- piastre di carico in acciaio di elevata rigidità (la deflessione tra il centro e il margine della piastra deve essere inferiore a 0.0025 mm in condizioni di carico massimo applicato); il diametro delle piastre dovrà essere compreso tra 50 e 100 cm;
- piastre di ripartizione del carico, da realizzarsi in sito in corrispondenza delle aree di carico tra queste e la piastra di acciaio, utilizzando malte cementizie a presa rapida caratterizzate da un modulo elastico di almeno 3×10^4 MPa;
- pompa idraulica per la messa in pressione del martinetto idraulico, dotata di stabilizzatore oleopneumatico;
- tubazione idraulica di collegamento.

L'utilizzo di un'attrezzatura diversa da quella specificata dovrà essere sottoposto a preventiva

autorizzazione da parte della Società.

4.3.3.4 Modalità esecutive

Le modalità di prova saranno le seguenti:

- preparazione delle superfici dell'ammasso roccioso da destinare ad aree di carico con metodi tali da causare il minimo danno alle superfici finite; le superfici di prova dovranno essere ubicate nel cunicolo in posizione diametralmente opposta; ogni superficie dovrà avere una dimensione di almeno 1.5 volte il diametro della piastra rigida di prova e dovrà essere la più liscia possibile, con uno scarto tra il punto più rilevato e il punto più profondo non superiore a 25 mm; alla fine delle operazioni di preparazione ogni superficie di prova andrà lavata con acqua pulita, per rimuovere i detriti e la polvere;
- realizzazione, tra le superfici di prova e la piastre rigide, di piastre di ripartizione del carico mediante getto di malta cementizia, da effettuare in appositi casseri con le piastre rigide in posizione; lo spessore della piastra di ripartizione in cemento in nessun punto deve essere superiore a 38 mm/0.305 m di diametro della piastra rigida;
- disposizione di almeno 6 comparatori, per la misura delle deformazioni superficiali dell'ammasso roccioso, equamente spazati attorno al margine di ogni piastra;
- realizzazione dei due fori per l'installazione degli estensimetri; i fori dovranno essere allineati con la direzione di carico della prova, con uno scarto massimo di 5°, e dovranno essere posizionati al centro dell'area di carico, con uno scarto del 10% della larghezza della piastra di ripartizione; i fori dovranno essere eseguiti a rotazione a carotaggio continuo con utilizzo di corone diamantate; gli ancoraggi corrispondenti ai punti di misura degli estensimetri in profondità dovranno essere ubicati in modo da avere il punto più profondo ad almeno sei diametri del martinetto di prova e i due punti più superficiali a meno di un diametro dalla superficie di carico;
- installazione della struttura di contrasto, del martinetto cilindrico e delle piastre di carico;
- applicazione della pressione fino al valore massimo, da condursi in 5 cicli di carico e scarico, a carichi gradatamente crescenti, ognuno dei quali eseguito con almeno 10 incrementi di carico, uno ogni minuto; il ciclo di carico intermedio dovrebbe corrispondere al carico di progetto e il ciclo più elevato al doppio del carico di progetto; dopo ogni ciclo di carico la pressione deve essere riportata a zero (fase di scarico) con gli stessi incrementi utilizzati per la fase di carico; il carico di picco e lo zero di ogni ciclo vanno mantenuti per almeno 10 minuti; le letture di deformazione vanno eseguite dopo ogni incremento di carico e di scarico e ogni 5 minuti per il carico di picco e lo zero di ogni ciclo.

4.3.3.5 Documentazione

La documentazione della prova dovrà comprendere:

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2.
- descrizione litologica e geomeccanica dell'ammasso roccioso con documentazione fotografica;
- descrizione e specifiche tecniche delle attrezzature utilizzate e relativa documentazione fotografica;
- descrizione accurata della procedura utilizzata per la prova;
- documentazione fotografica delle varie fasi della prova.
- tabelle delle letture originali (deformazioni, pressioni, tempi);

- grafico pressione/deformazione per i diversi punti di rilievo delle deformazioni;
- grafico deformazione/tempo per i diversi punti di rilievo delle deformazioni;
- nel caso di utilizzo di estensimetri multibase, grafico deformazione/profondità, con deformazioni riferite all'ancoraggio più profondo;
- equazioni utilizzate per il calcolo del modulo di deformabilità;
- valori del modulo di deformabilità, calcolati per ogni punto;
- copia dei certificati di taratura della cella di carico, del manometro o trasduttore di pressione di data non anteriore di un anno la data della prova, qualora richiesti.

4.3.4 PROVA DI CARICO SU PIASTRA (PIASTRA FLESSIBILE)

4.3.4.1 Descrizione della prova

La prova consente di determinare le caratteristiche di deformabilità di un ammasso roccioso in sito attraverso l'utilizzo del metodo della piastra flessibile. Tale prova viene realizzata generalmente in gallerie o cunicoli esplorativi, di diametro compreso tra 2 e 4 m, spianando due superfici diametralmente opposte e caricandole con martinetti dotati di elevata deformabilità che sfruttano un sistema di contrasto centrale.

4.3.4.2 Normative e specifiche di riferimento

- ASTM D 4395 - Standard Test Method for Determining the In Situ Modulus of Deformation of Rock Mass Using the Flexible Plate Loading Method

L'impresa dovrà in ogni caso attenersi a quanto di seguito specificato.

4.3.4.3 Caratteristiche delle attrezzature

L'attrezzatura di prova dovrà comprendere:

- attrezzatura di scavo e perforazione della roccia, adeguata alle necessità di preparazione delle aree di carico e alla realizzazione dei fori per l'installazione degli estensimetri; l'esplosivo non è ammesso nelle fasi finali della preparazione delle aree di carico;
- sistema per la misura delle deformazioni, costituito da due estensimetri multibase da foro per la misura delle deformazioni all'interno dell'ammasso roccioso, da installare in posizione diametralmente opposta nel cunicolo in corrispondenza del centro delle due aree di carico, da un distometro per la misura del diametro del cunicolo e da comparatori per le misure di deformazione superficiale; la precisione richiesta per gli strumenti è di 0.001 mm; errori superiori a 0.01 mm possono rendere la prova non valida in presenza di ammassi rocciosi con moduli superiori a 3.5×10^4 MPa;
- sistema per l'applicazione del carico costituito da martinetti piatti circolari anulari, di diametro compreso tra 50 cm e 100 cm, ognuno costituito da due lamine di acciaio in grado di deformarsi in maniera pressoché parallela sotto l'azione di olio in pressione, con una capacità di carico tale da permettere la deformazione dell'ammasso roccioso; i martinetti saranno collegati all'attrezzatura di contrasto mediante uno snodo sferico,
- manometro o traduttore di pressione per la lettura della pressione nei martinetti, con una precisione di 0.2 MPa;
- pompa idraulica per la messa in pressione dei martinetti dotata di stabilizzatore oleopneumatico;
- tubazione idraulica di collegamento.

L'utilizzo di un'attrezzatura diversa da quella specificata dovrà essere sottoposto a preventiva autorizzazione da parte della Società.

4.3.4.4 Modalità esecutive

Le modalità di prova saranno le seguenti:

- preparazione delle superfici dell'ammasso roccioso da destinare ad aree di carico con metodi tali da causare il minimo danno alle superfici finite; le superfici di prova dovranno essere ubicate nel cunicolo in posizione diametralmente opposta; ogni superficie dovrà avere una dimensione di almeno 1.5 volte il diametro del martinetto piatto di prova e dovrà essere piana e perfettamente levigata impiegando una fresa con dischi diamantati; alla fine delle operazioni di preparazione ogni superficie di prova andrà lavata con acqua pulita, per rimuovere i detriti e la polvere;
- disposizione di almeno 6 comparatori per la misura delle deformazioni superficiali dell'ammasso roccioso, equamente spazati attorno al margine di ogni piastra;
- realizzazione dei due fori per l'installazione degli estensimetri; i fori dovranno essere allineati con la direzione di carico della prova, con uno scarto massimo di 5°, e dovranno essere posizionati al centro dell'area di carico, con uno scarto del 10% della larghezza della piastra di ripartizione; i fori dovranno essere eseguiti a rotazione a carotaggio continuo con utilizzo di corone diamantate; gli ancoraggi corrispondenti ai punti di misura degli estensimetri in profondità dovranno essere ubicati in modo da avere il punto più profondo ad almeno sei diametri del martinetto di prova e i due punti più superficiali a meno di un diametro dalla superficie di carico;
- installazione della struttura di contrasto e dei martinetti piatti anulari;
- applicazione della pressione fino al valore massimo, da condursi in 5 cicli di carico e scarico, a carichi gradatamente crescenti, ognuno dei quali eseguito con almeno 10 incrementi di carico, uno ogni minuto; il ciclo di carico intermedio dovrebbe corrispondere al carico di progetto e il ciclo più elevato al doppio del carico di progetto; dopo ogni ciclo di carico la pressione deve essere riportata a zero (fase di scarico) con gli stessi incrementi utilizzati per la fase di carico; il carico di picco e lo zero di ogni ciclo vanno mantenuti per almeno 10 minuti; le letture di deformazione vanno eseguite dopo ogni incremento di carico e di scarico e ogni 5 minuti per il carico di picco e lo zero di ogni ciclo.

4.3.4.5 Documentazione

La documentazione della prova dovrà comprendere:

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2.
- descrizione litologica e geomeccanica dell'ammasso roccioso con documentazione fotografica;
- descrizione e specifiche tecniche delle attrezzature utilizzate e relativa documentazione fotografica;
- descrizione accurata della procedura utilizzata per la prova;
- documentazione fotografica delle varie fasi della prova.
- tabelle delle letture originali (deformazioni, pressioni, tempi);
- grafico pressione/deformazione per i diversi punti di rilievo delle deformazioni;
- grafico deformazione/tempo per i diversi punti di rilievo delle deformazioni;
- nel caso di utilizzo di estensimetri multibase, grafico deformazione/profondità, con deformazioni riferite all'ancoraggio più profondo;
- equazioni utilizzate per il calcolo del modulo di deformabilità;
- valori del modulo di deformabilità, calcolati per ogni punto;
- copia dei certificati di taratura del manometro o trasduttore di pressione di data non anteriore di un anno la data della prova, qualora richiesti.

4.3.5 PROVA DI TAGLIO DIRETTO IN SITO

4.3.5.1 Descrizione della prova

La prova di taglio diretto in sito consente di determinare le caratteristiche di resistenza al taglio di picco e residue di un giunto naturale o di un ammasso roccioso, attraverso l'applicazione di un carico normale di confinamento ad un blocco di roccia opportunamente predisposto e di un carico tangenziale che porta a rottura il blocco in corrispondenza di un giunto o di un piano di taglio prestabilito.

Per la determinazione dei parametri di resistenza al taglio dovrebbero essere realizzate prove su almeno 4 o 5 blocchi diversi aventi come base la stessa superficie di taglio. Ciascuna prova, condotta con un determinato carico normale di confinamento, permette infatti di individuare, mediante il controllo delle deformazioni, il valore della resistenza di picco e residua. I risultati delle prove condotte con diversi carichi normali, mediante interpolazione su di un grafico s_n-t , consentono così di ricavare la curva intrinseca di resistenza del giunto naturale o dell'ammasso roccioso (relativamente alla superficie di taglio imposta), nelle condizioni di picco e residue.

Dato che condurre 4 o 5 prove su blocchi diversi può risultare molto oneroso, risulta preferibile eseguire prove del tipo 'multistage', nelle quali su un singolo blocco, in fasi successive della prova, vengono applicati diversi carichi normali. Il blocco viene portato a rottura generalmente in corrispondenza del carico più basso permettendo una certa deformazione dopo il raggiungimento delle condizioni di picco, quindi viene scaricato e successivamente portato ad un nuovo carico e ad una nuova rottura e così via per almeno quattro diversi carichi normali. Dato che le condizioni di picco possono essere determinate solo in corrispondenza del primo ciclo di carico, il tracciamento della curva completa carico-spostamento per i carichi successivi (prive del tratto contenente le condizioni di picco) può essere effettuata mediante ricostruzione della stessa sulla base delle caratteristiche geomeccaniche del giunto (JRC, JCS e j_b), secondo quanto proposto da Barton (1985).

4.3.5.2 Normative e specifiche di riferimento

- ASTM D 4554 - Standard Test Method for In Situ Determination of Direct Shear Strength of Rock Discontinuities

L'Impresa dovrà in ogni caso attenersi a quanto di seguito specificato.

4.3.5.3 Caratteristiche delle attrezzature

L'attrezzatura di prova dovrà comprendere:

- attrezzatura di scavo e demolizione della roccia, adeguata alle necessità di preparazione del sito e di isolamento del blocco;
- sistema per l'applicazione del carico normale, rappresentato da uno o più martinetti idraulici in grado di esercitare la pressione richiesta per la prova, agenti su una trave di reazione poggiante sulla cassa di contenimento del blocco; nel caso di prova in cunicolo il contrasto potrà essere fornito dalla volta o dalle pareti; nel caso di prova in superficie il contrasto potrà essere offerto da tiranti ancorati al terreno a fianco del blocco o da altro sistema approvato dalla Società; il sistema per l'applicazione del carico normale e relativo contrasto dovranno essere dotati di una rulliera (o altro sistema a basso attrito) in modo che a qualsiasi valore del carico normale la resistenza allo spostamento tangenziale sia inferiore all'1% della massima forza di taglio

applicata nella prova;

- sistema per l'applicazione del carico tangenziale, rappresentato da uno o più martinetti idraulici agenti sulla cassa di contenimento, con una direzione d'azione inclinata di 15° rispetto al piano di taglio, grazie ad un contrasto fornito dalle pareti del cunicolo o a mezzo di tiranti suborizzontali ancorati al telaio inferiore o secondo altri mezzi o configurazioni approvati dalla Società;
- sistema per la misura delle forze applicate costituito da manometri o trasduttori di pressione ad alta precisione;
- sistema per la misura degli spostamenti tangenziali, costituito da 2 comparatori centesimali o trasduttori lineari di spostamento tipo LVDT con precisione di 0.01 mm ed escursione di almeno 100 mm;
- sistema per la misura degli spostamenti normali e laterali, costituito da 6 comparatori centesimali o trasduttori lineari di spostamento tipo LVDT (di cui 4 per la misura dello spostamento normale e 2 per la misura degli spostamenti laterali) con precisione di 0.01 mm ed escursione di almeno 20 mm.

L'utilizzo di un'attrezzatura diversa da quella specificata dovrà essere sottoposto a preventiva autorizzazione da parte della Società.

4.3.5.4 Modalità esecutive

Le modalità di preparazione del blocco e le sue dimensioni dovranno essere concordati con la Società.

La preparazione del blocco e le modalità esecutive saranno realizzate nella forma schematicamente descritta di seguito:

- sbancamento preliminare e pulizia del sito di prova, isolamento di un blocco di roccia di dimensioni minime pari a 70 x 70 cm alla base e 35 cm in altezza, ponendo la massima cura nel non procurare alcun disturbo al blocco e al giunto di prova;
- accurata descrizione litologica e geomeccanica del sito e in particolare del blocco di roccia, corredata da schizzi e fotografie.
- applicazione di uno strato di materiale a scarsa resistenza (ad es. polistirene in schiuma) attorno alla base del blocco in corrispondenza del giunto di prova e inglobamento del blocco in una capsula di calcestruzzo, eventualmente armato con rete elettrosaldata (gettato in opera all'interno di un apposito cassero), di resistenza e rigidità sufficiente ad evitare rotture o distorsioni importanti del blocco durante la prova; le superfici di applicazione dei carichi (normale e tangenziale) risultanti dal getto dovranno essere piane (tolleranza ± 3 mm) e avere la corretta inclinazione nei confronti del piano di taglio (tolleranza $\pm 2^\circ$);
- posizionamento delle attrezzature di contrasto, delle attrezzature per l'applicazione dei carichi e per la misura dei carichi e degli spostamenti;
- applicazione del carico normale fino a raggiungere il valore di tensione normale specificato per la prova; durante il decorso della prova è necessario applicare delle correzioni al carico applicato per mantenere costante il valore di tensione normale, in funzione dello spostamento del blocco e quindi della variazione dell'area di taglio;
- applicazione del carico tangenziale in maniera continua o ad incrementi costanti, in modo da consentire almeno 10 letture prima di raggiungere la resistenza di picco; la velocità dello

spostamento tangenziale dovrebbe essere inferiore a 0.1 mm/min nel periodo di 10 min che precede ogni lettura; questa velocità può essere incrementata a non più di 0.5 mm/min tra letture successive, a patto che la resistenza di picco venga registrata in modo adeguato;

- una volta raggiunta la resistenza di picco, si dovrà eseguire una serie di letture ad incrementi di spostamento variabili tra 0.5 e 5 mm, in modo da descrivere adeguatamente la curva sforzo di taglio-spostamento tangenziale; la velocità di spostamento tangenziale dovrebbe essere compresa tra 0.02 e 0.2 mm/min nel periodo di 10 min che precede ogni lettura e può essere incrementata a non più di 1 mm/min tra letture successive; il valore di resistenza al taglio residua può essere stabilito quando il campione viene tagliato sotto una tensione normale costante e almeno 4 letture consecutive mostrano una variazione di sforzo di taglio inferiore al 5% per uno spostamento tangenziale di 1 cm; determinata la resistenza residua, la tensione normale può essere incrementata o ridotta e le operazioni di taglio continuate in modo da ottenere altri valori di resistenza residua;
- nel caso di prove 'multistage' il blocco viene portato a rottura in corrispondenza di un primo carico normale permettendo una certa deformazione dopo il raggiungimento delle condizioni di picco, quindi viene scaricato e successivamente portato ad un nuovo carico normale e ad una nuova rottura e così via per almeno quattro diversi valori di carico. Dato che le condizioni di picco possono essere determinate solo in corrispondenza del primo ciclo di carico, il tracciamento della curva completa carico-spostamento per i carichi successivi (prive del tratto contenente le condizioni di picco) dovrà essere effettuato mediante ricostruzione della stessa, sulla base delle caratteristiche geomeccaniche del giunto (JRC, JCS e j_b), secondo quanto proposto da Barton (1985);
- terminata la prova, il blocco dovrà essere rovesciato su un lato per permettere una adeguata documentazione fotografica della superficie di taglio, una sua accurata descrizione e una misura della rugosità e dei valori di immersione e inclinazione; dovranno essere prelevati campioni della roccia, del materiale di riempimento e del detrito per prove di identificazione in laboratorio.

4.3.5.5 Documentazione

La documentazione della prova dovrà comprendere:

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2.
- descrizione litologica e geomeccanica del blocco di prova e del giunto;
- descrizione del materiale di riempimento o del detrito accompagnata da risultati delle prove di identificazione in laboratorio;
- descrizione e specifiche tecniche delle attrezzature utilizzate;
- tabelle delle letture originali (tempi, forze, spostamenti);
- grafico sforzo di taglio, spostamento normale e dilatanza in funzione dello spostamento tangenziale;
- nel caso di prove 'multistage' descrizione del procedimento utilizzato per la ricostruzione delle curve sforzo di taglio/spostamento tangenziale relative ai carichi normali successivi al primo;
- tabelle con i valori di resistenza di picco (misurati o calcolati) e di resistenza residua in funzione dei valori di sforzo normale;
- tabelle con i valori derivati di resistenza al taglio (angolo di attrito e coesione);
- grafico angolo di attrito e coesione istantanei in funzione dello spostamento tangenziale;
- documentazione fotografica delle varie fasi della prova;

- copia dei certificati di taratura dei manometri o traduttori di pressione e dei comparatori centesimali o trasduttori di spostamento di data non anteriore di un anno alla data della prova, qualora richiesti.

5 MONITORAGGI

5.1 INSTALLAZIONE DI STRUMENTAZIONE

5.1.1 PIEZOMETRO A TUBO APERTO

5.1.1.1 Generalità

Il piezometro a tubo aperto, installato in un foro di sondaggio verticale, consente il rilievo della profondità della superficie piezometrica, mediante misurazione con apposita sondina elettrica (freatimetro).

Il piezometro a tubo aperto è generalmente adatto a terreni di elevata permeabilità ($k > 10^{-6}$ m/s).

5.1.1.2 Normative e specifiche di riferimento

- AGI Associazione Geotecnica Italiana (1977) - Raccomandazioni sulla Programmazione ed Esecuzione delle Indagini Geotecniche

Quando richiesto dalla Società dovrà farsi riferimento alla seguente norma tecnica:

- EN ISO 22475-1:2006 - Geotechnical Investigation and Testing - Sampling Methods and Groundwater measurements - Part 1: Technical Principles for Execution.

5.1.1.3 Caratteristiche della strumentazione

La strumentazione da installare nel foro dovrà essere costituita da:

- tubo piezometrico in PVC, di diametro interno compreso tra 1½" e 4", costituito da una serie di spezzoni ciechi e filtranti di lunghezza variabile tra 1.5 e 3 m; gli spezzoni filtranti del tubo saranno fenestrati orizzontalmente e, quando richiesto, rivestiti con apposita calza in tessuto non tessuto; i diversi spezzoni di tubo dovranno essere giuntati attraverso appositi manicotti filettati.

L'utilizzo di tubi piezometrici di materiali o dimensioni diversi da quelli descritti dovrà essere subordinato ad approvazione da parte della Società.

5.1.1.4 Preparazione del foro

La perforazione del foro di sondaggio in cui andrà installato il piezometro dovrà essere eseguita utilizzando, come fluido di circolazione, acqua oppure fango a polimeri degradabili. L'uso di fango bentonitico non è ammesso, se non a seguito di esplicita approvazione da parte della Società.

Se il piezometro non deve essere posato a fondo foro, il foro dovrà essere riempito, ritirando man mano il rivestimento, fino ad una quota di 2 m più bassa di quella di installazione, con ghiaia fine o sabbia, tramite versamento da bocca foro, avendo cura di effettuare un riempimento graduale e continuo, senza creare cavità intermedie. Qualora sia richiesto il riempimento verrà effettuato interamente con una miscela cemento-bentonite-acqua in proporzioni tali che la consistenza della miscela, a posa avvenuta, sia simile a quella del terreno nella zona del piezometro.

Successivamente, dalla quota di -2 m a -0.5 m da quella di installazione prevista, si realizzerà un tappo impermeabile costituito da palline di bentonite, seguite da un sottile livello di ghiaia a fini stabilizzanti.

Una volta effettuato il riempimento alla quota prevista (e completata la presa nel caso di miscela cementizia), il foro deve essere accuratamente lavato con acqua pulita (previo degrado nel caso di presenza di fango a polimeri).

5.1.1.5 Installazione

L'installazione seguirà le seguenti fasi:

- posa di uno spessore di 0.5 m di sabbia grossa o ghiaietto pulito ($\varnothing = 1 \div 4$ mm);
- discesa a quota del tubo piezometrico, precedentemente assemblato secondo la sequenza di tratti ciechi e fenestrati prevista dal progetto delle indagini o dalla Società; i singoli spezzoni di tubo dovranno essere collegati tra loro mediante appositi manicotti di giunzione, opportunamente sigillati; lo spezzone di piezometro più profondo dovrà essere chiuso con apposito tappo di fondo; la testa del piezometro dovrà essere chiusa con tappo removibile di superficie, (a vite o a pressione);
- posa di sabbia grossa o ghiaietto pulito ($\varnothing = 1 \div 4$ mm) attorno al tratto fenestrato del tubo piezometrico, ritirando man mano il rivestimento, senza l'ausilio della rotazione, con l'avvertenza di controllare che il tubo piezometrico non risalga assieme al rivestimento;
- posa di un tampone impermeabile dello spessore complessivo di almeno 1 m al di sopra del tratto fenestrato, realizzato inserendo bentonite in palline ($\varnothing = 1 \div 2$ cm) in strati di 20 cm, ritirando sempre man mano il rivestimento;
- riempimento del foro al di sopra del tampone impermeabile con una miscela plastica acqua-cemento-bentonite (con proporzioni in peso rispettivamente di 100, 30 e 5), calata attraverso apposite aste discese sul fondo del foro; solo dietro esplicita autorizzazione della Società, in sostituzione alla miscela, il foro potrà essere riempito con ghiaietto fine o sabbia, tramite versamento da bocca foro; in tal caso il riempimento sarà effettuato fino alla quota di -1 o -2 m da p.c.; ad esso seguirà la posa di un ulteriore tappo impermeabile superficiale con palline di bentonite, fino alla superficie;
- sistemazione e protezione della estremità del piezometro con la creazione di un chiusino di protezione in acciaio verniciato, ben cementato nel terreno, munito di coperchio con lucchetto e chiavi che verranno consegnate alla Società; nel caso di installazione in luoghi aperti al traffico veicolare o pedonale (strade, piazzali, marciapiedi), o quando richiesto dalla Società, in luogo del chiusino standard dovrà essere installato idoneo chiusino carrabile in ghisa con corpo in cemento, posto in opera a filo del terreno; in alcune circostanze potrà essere richiesta l'installazione di doppio chiusino (chiusino interno ribassato in acciaio, sormontato da chiusino esterno carrabile in ghisa)
- spurgo e collaudo del piezometro da eseguirsi per immissione di acqua pulita a bassa pressione nel piezometro per circa 1 minuto o fino a completo riempimento e fuoriuscita da boccaforo di acqua chiara,
- esecuzione della prima lettura significativa, da realizzarsi a non meno di 96 ore dall'installazione del piezometro, e comunque dopo aver accertato la stabilizzazione del livello del falda; ciò potrà avvenire attraverso l'esecuzione di tre letture di taratura, da eseguirsi a non meno di 24 ore, 48 ore e 72 ore dal collaudo della strumentazione.

5.1.1.6 Documentazione

La documentazione dovrà comprendere:

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2.
- stratigrafia del foro di sondaggio (se eseguito a carotaggio continuo);
- tipo e schema di installazione nel foro del tubo piezometrico;
- quota assoluta o relativa della estremità superiore del chiusino di protezione;
- tabella con le letture eseguite.

5.1.2 PIEZOMETRO TIPO CASAGRANDE

5.1.2.1 Generalità

Il piezometro tipo Casagrande consente il rilievo, mediante apposita sondina elettrica (freatimetro) munita di cavo graduato, della profondità della superficie piezometrica, attraverso l'inserimento in un foro di sondaggio di un piezometro costituito da un filtro cilindrico collegato a due tubicini rigidi in PVC per il raccordo con la superficie.

Il piezometro tipo Casagrande è adatto a terreni poco permeabili.

5.1.2.2 Normative e specifiche di riferimento

- AGI Associazione Geotecnica Italiana (1977) - Raccomandazioni sulla Programmazione ed Esecuzione delle Indagini Geotecniche

Quando richiesto dalla Società dovrà farsi riferimento alla seguente norma tecnica:

- EN ISO 22475-1:2006 - Geotechnical Investigation and Testing - Sampling Methods and Groundwater measurements - Part 1: Technical Principles for Execution.

5.1.2.3 Caratteristiche della strumentazione

La strumentazione da installare nel foro dovrà essere costituita da:

- cella tipo Casagrande, costituita da un cilindro poroso di materiale plastico (ad es. polietilene soffiato) o di ceramica, che dovrà avere un diametro minimo di 50 mm e una lunghezza non inferiore a 200 mm; il collegamento del cilindro poroso con la superficie è assicurato da due tubicini rigidi in PVC (andata e ritorno), che dovranno avere un diametro interno non inferiore a 15 mm e uno spessore non inferiore a 3 mm; i singoli spezzoni di tubo, di lunghezza generalmente variabile tra 1.5 e 3 m, dovranno essere collegati tra loro da appositi manicotti di giunzione. Le celle Casagrande predisposte per la misura automatica della colonna d'acqua avranno uno dei due tubicini di diametro maggiorato (1.5" gas) per permettere l'inserimento all'interno della tubazione di un trasduttore di pressione elettrico. L'innesto tra la cella e la tubazione da 1.5" dovrà essere realizzato mediante apposito raccordo idraulico.

L'utilizzo di celle o tubi piezometrici di materiali o dimensioni diversi da quelli descritti dovrà essere subordinato ad approvazione da parte della Società.

5.1.2.4 Preparazione del foro

La perforazione del foro di sondaggio in cui andrà installata la cella Casagrande dovrà essere eseguita utilizzando, come fluido di circolazione, acqua oppure fango a polimeri degradabili. L'uso di fango bentonitico non è ammesso, se non a seguito di esplicita approvazione da parte della Società.

Se la cella Casagrande non deve essere posata a fondo foro, il foro dovrà essere riempito, ritirando man mano il rivestimento, fino ad una quota di 1.5 m più bassa di quella di installazione, con ghiaia fine o sabbia, tramite versamento da bocca foro, avendo cura di effettuare un riempimento graduale e continuo, senza creare cavità intermedie. Quando richiesto dalla Società il riempimento verrà effettuato con una miscela acqua-cemento-bentonite in proporzioni tali che la consistenza della miscela, a posa avvenuta, sia simile a quella del terreno nella zona del piezometro.

Successivamente, dalla quota di -1.5 m a -0.5 m da quella di installazione prevista, si realizzerà un tappo impermeabile costituito da palline di bentonite, seguite da un sottile livello di ghiaia a fini stabilizzanti.

Una volta effettuato il riempimento alla quota prevista (ed avutasi la presa nel caso di miscela cementizia), il foro deve essere accuratamente lavato con acqua pulita (previo degrado nel caso di presenza di fango a polimeri).

5.1.2.5 Installazione

L'installazione seguirà le seguenti fasi:

- posa di uno spessore di 0.5 m di sabbia grossa o ghiaietto pulito ($\varnothing = 1 \div 4$ mm);
- discesa a quota della cella Casagrande, precedentemente assemblata con i due tubicini rigidi in PVC; i singoli spezzoni di tubo dovranno essere collegati tra loro mediante appositi manicotti di giunzione, opportunamente sigillati; la sommità dei tubicini dovrà essere chiusa con tappi removibili di superficie, (a vite o a pressione);
- posa di sabbia grossa o ghiaietto pulito ($\varnothing = 1 \div 4$ mm) attorno alla cella Casagrande e al di sopra per circa 0.5 m, ritirando man mano il rivestimento, senza l'ausilio della rotazione, con l'avvertenza di controllare che cella e tubicini non risalgano assieme al rivestimento;
- posa di un tampone impermeabile dello spessore complessivo di almeno 1 m, realizzato inserendo bentonite in palline ($\varnothing = 1 \div 2$ cm) in strati di 20 cm, ritirando sempre man mano il rivestimento;
- riempimento del foro al di sopra del tampone impermeabile con una miscela plastica acqua-cemento-bentonite (con proporzioni in peso rispettivamente di 100, 30 e 5), calata attraverso apposite aste discese sul fondo del foro; solo dietro esplicita autorizzazione della Società, in sostituzione alla miscela, il foro potrà essere riempito con ghiaia fine o sabbia, tramite versamento da bocca foro; in tal caso il riempimento sarà effettuato fino alla quota di -1 -2 m da p.c., ad esso seguirà la posa di un ulteriore tappo impermeabile superficiale con palline di bentonite, per lo spessore di 1 m;
- sistemazione e protezione della estremità del piezometro con la creazione di un chiusino in acciaio verniciata, ben cementato nel terreno, munito di coperchio con lucchetto e chiavi che verranno consegnate alla Società; nel caso di installazione in luoghi aperti al traffico veicolare o pedonale (strade, piazzali, marciapiedi), o quando richiesto dalla Società, in luogo del chiusino standard dovrà essere installato idoneo chiusino carrabile in ghisa con corpo in cemento, posto in opera a filo terreno; in alcune circostanze potrà essere richiesta l'installazione di doppio chiusino (chiusino interno ribassato in acciaio, sormontato da chiusino esterno carrabile in ghisa).
- spurgo e collaudo del piezometro, da eseguirsi per immissione di acqua pulita a bassa pressione all'interno di uno dei tubi, alimentando il ricircolo fino alla fuoriuscita di un getto di acqua chiara dal secondo tubo;
- esecuzione della prima lettura significativa, da realizzarsi a non meno di 96 ore dall'installazione del piezometro, e comunque dopo aver accertato la stabilizzazione del livello di falda; ciò potrà avvenire attraverso l'esecuzione di tre letture di taratura, da eseguirsi a non meno di 24 ore, 48 ore e 72 ore dal collaudo della strumentazione; la misura del livello dovrà essere eseguita in entrambi i tubi del piezometro, controllando così che il circuito e il filtro siano liberi da bolle d'aria o impurità che possano impedire il libero flusso dell'acqua; in caso di rilevamento di un

livello dell'acqua non uguale nei due tubi, dovrà essere eseguito lo spurgo dei tubi;

5.1.2.6 Documentazione

La documentazione dovrà comprendere:

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2.
- stratigrafia del foro di sondaggio (se eseguito a carotaggio continuo);
- tipo e schema di installazione nel foro della cella Casagrande;
- quota assoluta o relativa della estremità superiore del chiusino di protezione;
- tabella con le letture eseguite.

5.1.3 PIEZOMETRO ELETTRICO

5.1.3.1 Generalità

Il piezometro elettrico installato in un foro di sondaggio o infisso nel terreno dalla superficie consente di misurare direttamente la pressione o sovrappressione interstiziale in un terreno fine limoso-argilloso.

5.1.3.2 Caratteristiche della strumentazione

La strumentazione da installare nel foro dovrà essere costituita da:

- piezometro elettrico assoluto con sensibilità pari allo 0.01 % del fondo scala, precisione pari allo 0.3% del fondo scala, deriva termica di zero inferiore all'1% del fondo scala (nel campo di compensazione); il campo di misura, fino ad un massimo di 20 bar, sarà stabilito dal progetto delle indagini o dalla Società;
- cavo elettrico di collegamento tra il piezometro e la superficie con terminale di misura alloggiato in pozzetto di protezione.

Le caratteristiche generali del trasduttore dovranno essere le seguenti:

- filtro ceramico con porosità adeguata
- campo di misura: Da definirsi
- sovraccarico: 30% del F.S.
- sensibilità: 0.01% del F.S.
- precisione: 0.3% del F.S.
- segnale elettrico in uscita: 4 , 20 mA
- temperatura d'esercizio: -10 , +55°C.
- materiale: acciaio inox
- eventuale punta di infissione e asta di spinta con raccordo.

5.1.3.3 Preparazione del foro

La perforazione del foro di sondaggio in cui andrà installato il piezometro dovrà essere eseguita utilizzando, come fluido di circolazione, acqua oppure fango a polimeri degradabili. L'uso di fango bentonitico non è ammesso, se non a seguito di esplicita approvazione da parte della Società.

Se il piezometro non deve essere posato a fondo foro, il foro dovrà essere riempito, ritirando man mano il rivestimento, fino ad una quota di 1.5 m più bassa di quella di installazione, con ghiaia fine o sabbia, tramite versamento da bocca foro, avendo cura di effettuare un riempimento graduale e continuo, senza creare cavità intermedie. Quando richiesto dalla Società il riempimento verrà effettuato con una miscela acqua-cemento-bentonite in proporzioni tali che la consistenza della miscela, a posa avvenuta, sia simile a quella del terreno nella zona del piezometro.

Successivamente, dalla quota di -1.5 m a -0.5 m da quella di installazione prevista, si realizzerà un tappo impermeabile costituito da palline di bentonite, seguite da un sottile livello di ghiaia a fini stabilizzanti.

Una volta effettuato il riempimento alla quota prevista (ed avutasi la presa nel caso di miscela cementizia), il foro deve essere accuratamente lavato con acqua pulita (previo degrado nel caso di presenza di fango a polimeri).

Al fine di evitare perdite di saturazione del piezometro durante le fasi di installazione il foro dovrà essere mantenuto costantemente pieno d'acqua. Inoltre prima dell'inserimento nel foro il piezometro, contenuto in un sacchetto di geotessile riempito di sabbia e acqua, dovrà essere inserito in un secondo sacchetto impermeabile pieno d'acqua da rompere una volta immerso in acqua all'interno del foro di sondaggio. L'inserimento del piezometro nel sacchetto di geotessile e nel sacchetto impermeabile dovrà essere eseguito all'interno di un contenitore pieno d'acqua.

5.1.3.4 Installazione

L'installazione seguirà le seguenti fasi:

- posa di uno spessore di 0.5 m di sabbia fine e pulita;
- discesa a quota del piezometro elettrico, inserito all'interno di un sacchetto di geotessile riempito di sabbia e acqua, e del cavo elettrico di collegamento;
- posa di sabbia attorno al piezometro e al di sopra per circa 0.5 m, ritirando man mano il rivestimento, senza l'ausilio della rotazione, con l'avvertenza di controllare che cella e cavi non risalgano assieme al rivestimento;
- posa di un tampone impermeabile dello spessore complessivo di 1 m, realizzato inserendo bentonite in palline ($\varnothing = 1 \div 2$ cm) in strati di 20 cm alternata a ghiaietto in strati di $2 \div 3$ cm, ritirando sempre man mano il rivestimento;
- riempimento del foro al di sopra del tampone impermeabile con una miscela plastica acqua-cemento-bentonite (con proporzioni in peso rispettivamente di 100, 30 e 5), calata attraverso apposite aste discese sul fondo del foro; solo dietro esplicita autorizzazione della Società, in sostituzione alla miscela, il foro potrà essere riempito con ghiaia fine o sabbia, tramite versamento da bocca foro; in tal caso il riempimento sarà effettuato fino alla quota di -1 -2 m da p.c., ad esso seguirà la posa di un ulteriore tappo impermeabile superficiale con palline di bentonite, per lo spessore di 1 m;
- sistemazione e protezione della estremità del foro con la realizzazione di un chiusino di protezione; secondo le indicazioni della Società e previste nel piano di indagini;
- esecuzione della prima lettura significativa; da realizzarsi a non meno di 96 ore dall'installazione del piezometro, e comunque dopo aver accertato la stabilizzazione del livello del falda; ciò potrà avvenire attraverso l'esecuzione di tre letture di taratura, da eseguirsi a non meno di 24 ore, 48 ore e 72 ore dal collaudo della strumentazione.

5.1.3.5 Documentazione

La documentazione dovrà comprendere:

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2.
- stratigrafia del foro di sondaggio (se eseguito a carotaggio continuo);
- caratteristiche del piezometro e schema di installazione nel foro;
- quota assoluta o relativa della estremità superiore del chiusino di protezione;
- tabella con le letture eseguite.

5.1.4 TUBO CIECO PER GEOFISICA IN FORO (DOWN-HOLE O CROSS- HOLE)

5.1.4.1 Generalità

L'installazione in foro di sondaggio di uno o più tubi ciechi per geofisica consente di effettuare misure sismiche tipo Down Hole (in singolo foro verticale) o Cross Hole (tra due o più fori adiacenti). Tali prove vengono effettuate attraverso la misurazione dei tempi di arrivo di impulsi sismici, generati in superficie o in profondità, ad uno o più ricevitori posti all'interno degli stessi fori di sondaggio rivestiti con apposita tubazione.

5.1.4.2 Caratteristiche delle attrezzature

L'attrezzatura di prova dovrà essere costituita dai seguenti componenti:

- tubazione con sezione circolare in PVC, con spessore > 3 mm e diametro interno compreso fra 75 e 100 mm, in spezzoni di 3 metri da assemblare mediante filettatura M/F oppure mediante manicotti di giunzione;

5.1.4.3 Controlli preliminari

In cantiere, prima dell'installazione, dovrà essere controllato quanto segue:

- i tubi e i manicotti non devono avere lesioni o schiacciate dovute al trasporto, soprattutto nelle parti terminali;
- le estremità dei tubi e dei manicotti non dovranno avere sbavature che possano compromettere il buon accoppiamento dei tubi;
- l'efficienza dell'eventuale tubo per l'iniezione della miscela di cementazione da applicare all'esterno della tubazione;
- la composizione della miscela di cementazione che dovrà essere costituita da acqua, cemento e bentonite rispettivamente in proporzione di 100, 30 e 5 parti in peso;
- gli utensili per l'installazione ed in particolare l'efficienza della morsa di sostegno.

5.1.4.4 Installazione della tubazione di guida e rivestimento

La perforazione deve essere condotta con circolazione di fanghi e con modalità esecutive tali da evitare scavarnamenti e rifluimenti.

In generale il foro deve essere rivestito con rivestimento metallico provvisorio. Tale rivestimento dovrà avere un unico diametro in modo che il foro abbia diametro costante per tutta l'altezza. Ove ciò fosse impossibile a causa della profondità del foro un secondo rivestimento telescopico al primo potrà essere utilizzato. Il rivestimento metallico provvisorio deve essere installato in modo da consentire la sua estrazione senza l'aiuto della rotazione.

La posa in opera della tubazione di prova dovrà avvenire in accordo con le seguenti modalità:

- lavaggio accurato con acqua pulita del foro di sondaggio;
- preassemblaggio dei tubi in spezzoni di 6 m. La realizzazione dei giunti dovrà avvenire nel modo seguente:
 - montaggio del tappo di fondo sul primo spezzone di tubo e fissaggio dell'estremità inferiore

del tubo per l'iniezione della miscela cementizia; nel caso in cui il tappo di fondo sia provvisto di apposita valvola unidirezionale per l'iniezione della miscela tale operazione non sarà necessaria;

- inserimento del primo spezzone di tubo nel foro (in terreni sotto falda riempire il tubo di acqua per contrastare la spinta di Archimede e favorirne l'affondamento);
- bloccaggio del tubo mediante apposita morsa, in modo che dal foro fuoriescano circa 40 ÷ 50 cm di tubo;
- inserimento dello spezzone successivo; incollaggio e sigillatura del giunto con mastice e nastro adesivo;
- allentamento della morsa per permettere di calare il tubo nel foro (riempiendolo d'acqua se necessario) fissando nel contempo il tubo di iniezione;
- bloccaggio del tubo con la morsa, in modo che dal foro fuoriescano circa 40 ÷ 50 cm di tubo;
- prosecuzione delle operazioni descritte fino al completamento della colonna, annotando la lunghezza dei tratti di tubo;
- cementazione del tubo, da eseguire a bassa pressione (200 kPa) attraverso il tubo di iniezione o attraverso la valvola di fondo, osservando la risalita della miscela cementizia all'esterno del tubo; il rivestimento di perforazione dovrà essere estratto, operando solo a trazione e senza rotazione, non appena la miscela appare in superficie; nella fase di estrazione del rivestimento il rabbocco della miscela potrà essere eseguito da testa foro, per mantenere il livello costante a p.c.; qualora si noti l'abbassamento del livello della miscela il rabbocco dovrà continuare nei giorni successivi; nella fase finale della cementazione, ove siano presenti al piano di campagna pavimentazioni o fondazioni rigide, si provvederà a sostituire la miscela cementizia con sabbia sciolta attorno alla tubazione.
- accurato lavaggio con acqua pulita dell'interno del tubo mediante attrezzo a fori radiali;
- dopo il lavaggio ed a presa avviata, verifica della continuità e dell'integrità della tubazione calando sul fondo e ritirando un attrezzo di dimensioni analoghe al geofono;
- installazione a testa foro di un chiusino di protezione in acciaio verniciato; il chiusino di protezione, di diametro interno minimo di 120 mm, dovrà sporgere di almeno 15 cm dalla sommità del tubo e dovrà aver una lunghezza di almeno 1 m; il chiusino dovrà essere provvisto di un coperchio con chiusura antigelo, di lucchetto e chiavi che dovranno essere consegnate alla Società; nel caso di installazione in luoghi aperti al traffico veicolare o pedonale (strade, piazzali, marciapiedi), o quando richiesto dalla Società, in luogo del chiusino standard dovrà essere installato idoneo chiusino carrabile in ghisa con corpo in cemento, posto in opera a filo terreno; in alcune circostanze potrà essere richiesta l'installazione di doppio chiusino (chiusino interno ribassato in acciaio, sormontato da chiusino esterno carrabile in ghisa).

5.1.4.5 Controllo della verticalità

Nel caso di installazione di tubi adiacenti per prove tipo Cross Hole, al termine dell'installazione, deve esserne verificata la verticalità, in modo da conoscere la esatta distanza fra i fori alle varie profondità. La misura della verticalità sarà effettuata dalla ditta incaricata all'esecuzione delle indagini sismiche, se necessario in contraddittorio con l'Impresa e alla presenza di Tecne.

Per i dettagli circa tali operazioni si rimanda al paragrafo 6.1.6.4. delle presenti Norme Tecniche d'Appalto.

5.1.4.6 Documentazione

La documentazione di ciascuna indagine dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, data, nominativo dell'operatore);
- le modalità esecutive del foro;
- lo schema geometrico di ogni tubazione installata;
- la quota assoluta o relativa della testa della tubazione di misura;
- le caratteristiche della tubazione installata;
- modalità di iniezione, quantità e composizione della miscela iniettata nell'intercapedine;
- stratigrafia del sondaggio;

5.1.5 TUBO INCLINOMETRICO

5.1.5.1 Generalità

L'installazione di un tubo inclinometrico in un foro di sondaggio consente, attraverso misure ripetute nel tempo, la misura dello spostamento orizzontale del terreno lungo tutta la verticale. Tali misure vengono effettuate introducendo nel tubo una apposita sonda inclinometrica che, dotata di sensori servoaccelerometrici di elevata precisione, consente di misurare l'inclinazione del tubo in corrispondenza di una determinata sezione.

5.1.5.2 Normative e specifiche di riferimento

- ASTM D 6230 - Standard Test Method for Monitoring Ground Movement Using Probe-Type Inclinometers

5.1.5.3 Caratteristiche della strumentazione

I tubi inclinometrici dovranno essere di alluminio e dovranno avere una sezione circolare provvista di quattro scanalature con funzione di guida per la sonda inclinometrica. Altri materiali (fibra di vetro, ABS), potranno essere utilizzati solo dietro approvazione della Società.

Le dimensioni del tubo inclinometrico, per una perforazione di 101 mm, dovranno essere le seguenti:

- $\varnothing_{\text{int}} \text{ tubo} = 76 \text{ mm};$
- $\varnothing_{\text{int}} \text{ guide} = 82 \text{ mm};$
- $\varnothing_{\text{est}} \text{ guide} = 86 \text{ mm};$

Dimensioni diverse del tubo inclinometrico da installare nel foro, in funzione di un diverso diametro di perforazione, dovranno essere indicate nel progetto delle indagini o dovranno essere comunicate all'Impresa direttamente dalla Società.

I tubi inclinometrici, che dovranno essere disponibili in spezzoni di 3 m, dovranno soddisfare i seguenti requisiti:

- massa non inferiore a 1350 g/m;
- spirallatura dei tubi inferiore a 0.5°/m;
- assoluta perpendicolarità delle sezioni terminali degli spezzoni di tubo rispetto all'asse del tubo, con la tolleranza di 1°.

I tubi inclinometrici dovranno essere assemblati mediante manicotti di giunzione, della lunghezza minima di 300 mm, che dovranno soddisfare il seguente requisito: $\varnothing_{\text{int}} \text{ guide manicotto} \leq \varnothing_{\text{est}} \text{ guide tubo inclinometrico} + \text{circa } 1 \text{ mm}.$

Il gioco massimo di accoppiamento tra i tubi (sfalsamento rotazionale) dovuto ai soli manicotti non dovrà essere superiore a 1°/giunto.

In caso di installazione di tubi inclinometrici in ambiente aggressivo (ambienti alcalini, presenza di correnti vaganti, ecc.) in luogo dei tubi in alluminio si utilizzeranno tubi in ABS di spessore minimo non inferiore a 4 mm, il cui utilizzo tuttavia dovrà essere subordinato a preventiva autorizzazione da parte della Società.

In nessun caso potranno essere installati tubi inclinometrici in materiali diversi (ad es. PVC o vetroresina).

5.1.5.4 Preparazione del foro

La perforazione del foro di sondaggio in cui verrà installato il tubo inclinometrico dovrà essere verticale e di diametro pari a 101 mm, con una deviazione globale dalla verticale non superiore al 2%.

Diametri di perforazione diversi da quello indicato dovranno essere indicati nel progetto delle indagini o dovranno essere comunicate all'Impresa direttamente dalla Società.

Una volta installato il tubo inclinometrico, il rivestimento del foro dovrà essere estratto con movimenti di sola trazione e assolutamente senza rotazione della colonna del rivestimento, per evitare danneggiamenti e soprattutto fenomeni di spiratura del tubo inclinometrico. Per facilitare le operazioni di estrazione della colonna del rivestimento, essa dovrà avere giunti con filettatura M/F senza manicotti o ingrossamenti esterni (colonna liscia), dovrà essere in ottimo stato (senza scampanature in corrispondenza dei giunti filettati) e dovrà essere di notevole spessore (10 mm circa).

5.1.5.5 Controlli preliminari

In cantiere, prima dell'installazione, dovrà essere controllato quanto segue:

- i tubi e i manicotti non devono avere lesioni o schiacciature dovute al trasporto, soprattutto nelle parti terminali;
- le estremità dei tubi e dei manicotti non dovranno avere sbavature che possano compromettere il buon accoppiamento dei tubi e lo scorrimento della sonda di misura;
- l'eventuale tubo per l'iniezione della miscela di cementazione, applicato all'esterno della colonna inclinometrica, dovrà essere perfettamente efficiente;
- la miscela di cementazione che dovrà essere costituita da acqua, cemento pozzolanico e bentonite rispettivamente in proporzione di 100, 30 e 5 parti in peso;
- dovranno essere controllati infine il diametro delle punte del trapano, il diametro e la lunghezza dei rivetti, il tipo e la scadenza del mastice, l'efficienza della morsa di sostegno.

5.1.5.6 Installazione

La posa in opera dei tubi inclinometrici dovrà avvenire in accordo con le seguenti modalità:

- lavaggio accurato con acqua pulita del foro di sondaggio;
- preassemblaggio dei tubi inclinometrici in spezzoni di 6 m, terminanti ad un estremo con un manicotto. La realizzazione dei giunti dovrà avvenire nel modo seguente:
 - inserimento del manicotto sul tubo per metà della sua lunghezza;
 - realizzazione dei fori per i rivetti (≥ 4 per ogni tubo) lungo generatrici equidistanti dalle guide e a circa 50 mm dall'estremità del manicotto;
 - con il manicotto in posizione mediante delle spine, inserimento di un altro tubo e realizzazione degli altri fori per i rivetti;
 - rimozione del manicotto;

- applicazione di un sottile strato di mastice all'esterno del tubo e all'interno del manicotto;
- inserimento del primo tubo nel manicotto e chiodatura con rivetti;
- attesa di circa 10' e quindi applicazione di una abbondante fasciatura con nastro adesivo autovulcanizzante, evitando assolutamente bruschi movimenti che possano causare torsioni;
- montaggio del tappo di fondo sul primo spezzone di tubo, già munito di manicotto, e fissaggio dell'estremità inferiore del tubo per l'iniezione della miscela cementizia; nel caso in cui il tappo di fondo sia provvisto di apposita valvola unidirezionale per l'iniezione della miscela quest'ultima operazione non sarà necessaria;
- inserimento del primo spezzone di tubo nel foro (in terreni sotto falda riempire il tubo di acqua per contrastare la spinta di Archimede e favorirne l'affondamento);
- bloccaggio del tubo mediante apposita morsa, in modo che dal foro fuoriescano circa 40 ÷ 50 cm di tubo più il manicotto;
- inserimento dello spezzone successivo; incollaggio, rivettatura e sigillatura del giunto;
- allentamento della morsa per permettere di calare il tubo nel foro (riempiendolo d'acqua se necessario) fissando nel contempo il tubo di iniezione;
- bloccaggio del tubo con la morsa, in modo che dal foro fuoriescano circa 40 ÷ 50 cm di tubo più il manicotto;
- prosecuzione delle operazioni descritte fino al completamento della colonna, annotando la lunghezza dei tratti di tubo e la posizione dei manicotti;
- cementazione del tubo inclinometrico, da eseguire a bassissima pressione, in ogni caso non superiore a 200 kPa, attraverso il tubo di iniezione o attraverso la valvola di fondo, osservando la risalita della miscela cementizia all'esterno del tubo inclinometrico; il rivestimento di perforazione dovrà essere estratto, operando solo a trazione e senza rotazione, non appena la miscela appare in superficie; nella fase di estrazione del rivestimento il rabbocco della miscela potrà essere eseguito da testa foro, per mantenere il livello costante a p.c.; qualora si noti l'abbassamento del livello della miscela il rabbocco dovrà continuare nei giorni successivi;
- accurato lavaggio con acqua pulita dell'interno del tubo inclinometrico mediante attrezzo a fori radiali preferibilmente dotato di pattini zigrinati per la pulizia delle guide;
- verifica dalla superficie dell'integrità e della continuità dell'inclinometro con apposita sonda testimone; il controllo è parte integrante dell'installazione e dovrà effettuarsi per tutta la profondità dello strumento. Il controllo consiste nel fare scorrere la sonda testimone lungo le guide del tubo fino a fondo foro, estraendola e quindi ripetendo l'operazione dopo averla ruotata di 90°. Durante tali operazioni la sonda testimone non dovrà incontrare ostacoli, né in discesa né in risalita;
- installazione a testa foro di un chiusino di protezione in acciaio verniciato; il chiusino di protezione, che dovrà essere ben cementato al terreno, dovrà sporgere di almeno di 10 cm dalla sommità del tubo inclinometrico, dovrà essere provvisto di un coperchio con chiusura antigelo e dotato di lucchetto e chiavi che dovranno essere consegnate alla Società; nel caso di installazione in luoghi aperti al traffico veicolare o pedonale (strade, piazzali, marciapiedi), o quando richiesto dalla Società, in luogo del chiusino standard dovrà essere installato idoneo chiusino carrabile in ghisa con corpo in cemento, posto in opera a filo terreno; in alcune particolari circostanze potrà essere richiesta l'installazione di doppio chiusino (chiusino interno ribassato in acciaio, sormontato da chiusino esterno carrabile in ghisa).

Qualora espressamente richiesto, il completamento del foro in superficie (testa inclinometro e pozzetto) dovrà essere realizzato in maniera tale da consentire l'inserimento di un apparato mobile (spezzone inclinometrico + manicotto di giunzione rivettato munito di piastra sommitale) per la misura GPS di precisione. In tal caso il pozzetto sarà costituito da piastra carrabile in ghisa con corpo in cemento, di lato non inferiore a 40 x 40 x 40 cm, interrato o lievemente sporgente dalla superficie del terreno, a seconda dei casi, al cui interno la testa dell'inclinometro sporge dalla base cementata per un'altezza di 20 cm, tale da consentire l'innesto temporaneo della strumentazione removibile.

Al termine delle operazioni di installazione e cementazione, non prima di 10 ÷ 14 giorni dalla installazione del tubo, contestualmente all'inizio del monitoraggio inclinometrico si dovrà verificare la funzionalità della tubazione inclinometrica, attraverso il controllo della continuità e dell'allineamento degli spezzoni di tubo e la verifica della rispondenza dell'inclinazione e della spiralatura della tubazione alle specifiche di accettazione.

Le operazioni di collaudo e la lettura iniziale di riferimento saranno eseguite dalla Società incaricata del successivo monitoraggio, se necessario in contraddittorio con l'Impresa e alla presenza della Società.

Per i dettagli circa tali operazioni si rimanda al capitolo 5.2.3. delle presenti Norme Tecniche d'Appalto.

5.1.5.7 Documentazione

La documentazione dovrà comprendere:

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2.
- stratigrafia del foro di sondaggio (se eseguito a carotaggio continuo);
- caratteristiche del tubo inclinometrico installato;
- caratteristiche della miscela utilizzata per la cementazione del tubo e quantità assorbita durante la cementazione;
- schema di installazione nel foro del tubo inclinometrico;
- quota assoluta o relativa della estremità superiore del chiusino di protezione;

5.1.6 CATENA INCLINOMETRICA FISSA

5.1.6.1 Generalità

L'installazione di una o più sonde inclinometriche fisse all'interno di un tubo inclinometrico posto in opera in un foro di sondaggio verticale consente la misura dello spostamento orizzontale del terreno in determinate sezioni di misura. La posizione delle sonde inclinometriche fisse nel tubo inclinometrico dovrà essere scelta in funzione della posizione dei piani di scorrimento individuati con una preventiva campagna di monitoraggio con sonda removibile.

5.1.6.2 Preparazione del foro e installazione del tubo inclinometrico

L'installazione degli inclinometri fissi di profondità dovrà avvenire all'interno di tubazioni inclinometriche, la cui tipologia ed installazione dovranno essere conformi a quanto indicato nel capitolo corrispondente delle presenti Norme Tecniche d'Appalto.

5.1.6.3 Caratteristiche della strumentazione

La strumentazione per la realizzazione di una catena inclinometrica fissa dovrà essere costituita da:

- una o più sonde inclinometriche biassiali, costituite da un corpo di acciaio inox munito di rotelle di guida con passo di 500 o 1000 mm (intervallo tra le rotelle), dotata di appositi sensori servoaccelerometrici o magnetoresistivi per la misura dell'inclinazione, disposti su due piani ortogonali tra loro, dei quali uno parallelo alle scanalature di guida e l'altro perpendicolare ad esse; i sensori impiegati dovranno essere rispondenti alle seguenti specifiche tecniche:

	sonde magnetoresistive	sonde a servoaccelerometri
- campo di misura	$\pm 20^\circ$	$\pm 30^\circ$
- risoluzione	0.0001V	0.00001 V
- sensibilità	1/10.000 sen a	1/20.000 sen a
- temperatura di esercizio	-20 , +70°C	-20 , +70°C
- assetto azimuthale	<0.5°	<0.5°
- segnale elettrico in uscita	4 , 20 mA	4 , 20 mA

- cavo elettrico a tenuta stagna per il collegamento tra ciascuna sonda inclinometrica e la superficie;
- cavetto di sospensione in acciaio;
- testa di sospensione in grado di sospendere ciascun inclinometro indipendentemente dagli altri alloggiata in un chiusino di protezione con chiusura antigelo dotato di lucchetto e chiavi che saranno consegnate alla Società;
- pannello di centralizzazione connesso ad una unità di registrazione dei dati rilevati secondo un programma temporale di acquisizione che dovrà essere stabilito dalla Società; il pannello di centralizzazione dovrà essere dotato di chiusura con lucchetto e chiavi che saranno consegnate alla Società.
- sonda testimone per il controllo dei tubi inclinometrici prima della posa della catena inclinometrica.

L'utilizzo di strumentazione con caratteristiche diverse da quelle sopra descritte dovrà essere subordinato a preventiva autorizzazione da parte della Società.

5.1.6.4 Installazione

L'installazione della catena inclinometrica fissa dovrà avvenire con le seguenti modalità:

- controllo mediante sonda testimone della tubazione inclinometrica;
- assemblaggio di tutta la catena inclinometrica con i cavetti di sospensione ed i cavi elettrici di collegamento con la superficie di lunghezza tale da ottenere il posizionamento delle sonde inclinometriche alle profondità stabilite;
- alloggiamento della batteria inclinometrica nel tubo inclinometrico e fissaggio dei cavetti in acciaio alla testa di sospensione;
- realizzazione dei collegamenti elettrici tra le sonde inclinometriche e il pannello centralizzato di misura di superficie;
- posa in opera di una recinzione di protezione di altezza non inferiore a 2 m dotata di chiusura con lucchetto e chiavi che saranno consegnate alla Società al termine dell'installazione.

5.1.6.5 Documentazione

La documentazione da fornire al termine dell'installazione della catena inclinometrica di profondità dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, data, nominativo dell'operatore);
- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2.
- schema di installazione della batteria inclinometrica;
- quota assoluta o relativa della estremità superiore della testa di sospensione;
- quota del centro di ciascuna sonda inclinometrica di profondità installata riferito alla testa di sospensione;
- azimuth dell'asse dei sensori di ciascuna sonda installata nel foro;
- certificato di taratura delle sonde inclinometriche fisse, con indicazione della sensibilità iniziale e della deriva strumentale, di data non anteriore di un anno la data di posa, qualora richiesto.

5.1.7 TUBAZIONE PER MISURA ESTENSIMETRICA INCREMENTALE TIPO INCREX

5.1.7.1 Generalità

La posa in opera all'interno di un foro di sondaggio comunque inclinato di una tubazione per misure estensimetriche incrementali consente, attraverso l'uso di una apposita sonda removibile, il rilievo delle variazioni di lunghezza lungo la tubazione conseguenti a deformazioni nel terreno in cui è inserita.

Il principio di funzionamento si basa sull'induzione elettromagnetica che consente di determinare la posizione e gli spostamenti di appositi anelli magnetici cementati alle pareti del foro.

La misura può essere accoppiata a misure inclinometriche, in modo da determinare gli spostamenti secondo tre componenti tra loro ortogonali.

5.1.7.2 Caratteristiche dell'attrezzatura

I tubi estensimetrici dovranno essere di ABS e dovranno avere una sezione circolare provvista di quattro scanalature con funzione di guida per la sonda estensimetrica.

Le dimensioni del tubo estensimetrico, per una perforazione di 101 mm, dovranno essere le seguenti:

- $\varnothing_{\text{int}} \text{ tubo} = 60 \text{ mm};$
- $\varnothing_{\text{est}} \text{ tubo} = 70 \text{ mm};$
- $\varnothing_{\text{int}} \text{ guide} = 63.5 \text{ mm};$
- spessore = 5.0 mm
- massa ³ 1600 g/m

Diametri inferiori e caratteristiche differenti potranno essere utilizzati dietro esplicita autorizzazione della Società.

All'esterno del tubo estensimetrico dovranno essere posizionati ad intervalli di lunghezza di 1 m appositi anelli metallici di massa non inferiore a 600 g.

Dimensioni diverse del tubo estensimetrico da installare nel foro, in funzione di un diverso diametro di perforazione, dovranno essere indicate nel progetto delle indagini o dovranno essere comunicate all'Impresa direttamente dalla Società.

5.1.7.3 Preparazione del foro

La perforazione del foro di sondaggio in cui verrà installato il tubo estensimetrico dovrà essere di diametro pari a 101 mm e dovrà avere l'orientazione indicata nel progetto delle indagini o dalla Società.

Diametri di perforazione diversi da quello indicato dovranno essere indicati nel progetto delle indagini o dovranno essere comunicate all'Impresa direttamente dalla Società.

Una volta installato il tubo estensimetrico, il rivestimento del foro dovrà essere estratto con movimenti di sola trazione e assolutamente senza rotazione della colonna del rivestimento, per evitare danneggiamenti al tubo estensimetrico. Per facilitare le operazioni di estrazione della colonna del rivestimento, essa dovrà avere giunti con filettatura M/F senza manicotti o

ingrossamenti esterni (colonna liscia), dovrà essere in ottimo stato (senza scampanature in corrispondenza dei giunti filettati) e dovrà essere di notevole spessore (10 mm circa).

5.1.7.4 Controlli preliminari

In cantiere, prima dell'installazione, dovrà essere controllato quanto segue:

- i tubi e i manicotti non devono avere lesioni o schiacciature dovute al trasporto, soprattutto nelle parti terminali;
- le estremità dei tubi e dei manicotti non dovranno avere sbavature che possano compromettere il buon accoppiamento dei tubi e lo scorrimento della sonda di misura;
- l'eventuale tubo per l'iniezione della miscela di cementazione applicato all'esterno della colonna inclinometrica, dovrà essere perfettamente efficiente;
- la miscela di cementazione dovrà essere costituita da acqua, cemento e bentonite rispettivamente in proporzione di 100, 30 e 5 parti in peso;

5.1.7.5 Installazione

La posa in opera dei tubi estensimetrici dovrà avvenire in accordo con le seguenti modalità:

- lavaggio accurato con acqua pulita del foro di sondaggio;
- preassemblaggio dei tubi estensimetrici in spezzoni di 6 m, terminanti ad un estremo con un manicotto. L'accoppiamento dei manicotti con gli spezzoni di tubo dovrà avvenire impiegando apposito collante secondo la seguente procedura:
 - a) applicazione di un sottile strato di collante all'esterno del tubo e all'interno del manicotto;
 - b) inserimento del manicotto sul primo tubo per metà della sua lunghezza;
 - c) inserimento di un secondo spezzone di tubo nel manicotto;
 - d) attesa di circa 10' e quindi applicazione di una abbondante fasciatura con nastro adesivo autovulcanizzante, evitando assolutamente bruschi movimenti che possano causare torsioni;
- montaggio del tappo di fondo sul primo spezzone di tubo, già munito di manicotto, e fissaggio dell'estremità inferiore del tubo per l'iniezione della miscela cementizia; nel caso in cui il tappo di fondo sia provvisto di apposita valvola unidirezionale per l'iniezione della miscela quest'ultima operazione non sarà necessaria;
- montaggio sul primo spezzone di tubo di un anello magnetico ogni metro di lunghezza, controllandone la posizione con apposito strumento spaziatore;
- inserimento del primo spezzone di tubo nel foro (in terreni sotto falda riempire il tubo di acqua per contrastare la spinta di Archimede e favorirne l'affondamento);
- bloccaggio del tubo mediante apposita morsa, in modo che dal foro fuoriescano circa 40 ÷ 50 cm di tubo più il manicotto;
- inserimento dello spezzone successivo su cui saranno stati posizionati ogni metro gli anelli magnetici; incollaggio e sigillatura del giunto;
- allentamento della morsa per permettere di calare il tubo nel foro (riempiendolo d'acqua se necessario) fissando nel contempo il tubo di iniezione;

- bloccaggio del tubo con la morsa, in modo che dal foro fuoriescano circa 40 ÷ 50 cm di tubo più il manicotto;
- prosecuzione delle operazioni descritte fino al completamento della colonna, annotando la lunghezza dei tratti di tubo e la posizione dei manicotti;
- cementazione del tubo estensimetrico, da eseguire a bassissima pressione, in ogni caso non superiore a 200 kPa, attraverso il tubo di iniezione o attraverso la valvola di fondo, osservando la risalita della miscela cementizia all'esterno del tubo estensimetrico; il rivestimento di perforazione dovrà essere estratto, operando solo a trazione e senza rotazione, non appena la miscela appare in superficie; nella fase di estrazione del rivestimento il rabbocco della miscela potrà essere eseguito da testa foro, per mantenere il livello costante a p.c.; qualora si noti l'abbassamento del livello della miscela il rabbocco dovrà continuare nei giorni successivi;
- accurato lavaggio con acqua pulita dell'interno del tubo estensimetrico mediante attrezzo a fori radiali;
- verifica dalla superficie dell'integrità e della continuità del tubo estensimetrico con apposita sonda testimone; il controllo è parte integrante dell'installazione e dovrà effettuarsi per tutta la profondità dello strumento;
- installazione a testa foro di un chiusino di protezione in acciaio verniciato; il chiusino di protezione, che dovrà essere ben cementato al terreno, dovrà sporgere di almeno di 10 cm dalla sommità del tubo estensimetrico e dovrà essere provvisto di un coperchio con chiusura antigelo, dotato di lucchetto e chiavi che dovranno essere consegnate alla Società; nel caso di installazione in luoghi aperti al traffico veicolare o pedonale (strade, piazzali, marciapiedi), o quando richiesto dalla Società, in luogo del chiusino standard dovrà essere installato idoneo chiusino carrabile in ghisa con corpo in cemento, posto in opera a filo della pavimentazione esistente; in alcune particolari circostanze potrà essere richiesta l'installazione di doppio chiusino (chiusino interno ribassato in acciaio, sormontato da chiusino esterno carrabile in ghisa).

Al termine delle operazioni di installazione e cementazione, non prima di 10 ÷ 14 giorni dalla installazione, contestualmente all'inizio del monitoraggio, si dovrà verificare la funzionalità della tubazione estensimetrica attraverso il controllo della continuità e dell'allineamento degli spezzoni di tubo.

Le operazioni di collaudo e la lettura iniziale di riferimento saranno eseguite dalla Società incaricata del successivo monitoraggio, se necessario in contraddittorio con l'Impresa e alla presenza della Società.

Per i dettagli circa tali operazioni si rimanda al paragrafo 5.2.4.3. delle presenti Norme Tecniche d'Appalto.

5.1.7.6 Documentazione

La documentazione dovrà comprendere:

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2.
- stratigrafia del foro di sondaggio (se eseguito a carotaggio continuo);
- caratteristiche del tubo estensimetrico installato;
- caratteristiche della miscela utilizzata per la cementazione del tubo e quantità assorbita durante la cementazione;
- schema di installazione nel foro del tubo estensimetrico;

- quota assoluta o relativa della estremità superiore del chiusino di protezione;

5.1.8 TUBAZIONE PER MISURA ESTENSIMETRICA INCREMENTALE TIPO ISETH O ESTENSO-INCLINOMETRICA TIPO TRIVEC

5.1.8.1 Generalità

Il principio di funzionamento dell'estensimetro incrementale tipo ISETH, sviluppato e messo a punto presso l'ETH di Zurigo, si basa su un preciso accoppiamento cono-sfera tra una sonda removibile dotata di un trasduttore lineare di spostamento tipo LVDT e una serie di riscontri di misura alloggiati in una tubazione in PVC e cementati alle pareti di un foro di sondaggio.

La sonda estensimetrica tipo ISETH può essere dotata di sensori inclinometrici a servoaccelerometri (sonda tipo TRIVEC) consentendo così la misura anche delle deformazioni orizzontali.

5.1.8.2 Caratteristiche dell'attrezzatura

La tubazione di misura è costituita da tubi in PVC aventi diametro esterno di 60 mm o 75 mm e lunghezza di 1 m che sono accoppiati tra loro mediante manicotti metallici dotati di appositi riscontri di misura.

I riscontri di misura, sagomati a cono, sono dotati di 4 scanalature che consentono lo scorrimento della sonda ed il suo bloccaggio in posizione di misura.

5.1.8.3 Preparazione del foro

La perforazione del foro di sondaggio in cui verrà installato il tubo estensimetrico dovrà essere di diametro non inferiore a 101 mm e dovrà avere l'orientazione indicata dal progetto delle indagini o dalla Società; nel caso di misure con sonda estenso-inclinometrica tipo TRIVEC i fori dovranno essere verticali.

Una volta installato il tubo estensimetrico, il rivestimento del foro dovrà essere estratto con movimenti di sola trazione e assolutamente senza rotazione della colonna del rivestimento, per evitare danneggiamenti al tubo estensimetrico. Per facilitare le operazioni di estrazione della colonna del rivestimento, essa dovrà avere giunti con filettatura M/F senza manicotti o ingrossamenti esterni (colonna liscia), dovrà essere in ottimo stato (senza scampanature in corrispondenza dei giunti filettati) e dovrà essere di notevole spessore (10 mm circa).

5.1.8.4 Controlli preliminari

In cantiere, prima dell'installazione, dovrà essere controllato quanto segue:

- i tubi e i manicotti di accoppiamento non devono avere lesioni o schiacciature dovute al trasporto, soprattutto nelle parti terminali;
- le estremità dei tubi e dei manicotti di accoppiamento non dovranno avere sbavature che possano compromettere il buon accoppiamento dei tubi e lo scorrimento della sonda di misura;
- l'eventuale tubo per l'iniezione della miscela di cementazione, applicato all'esterno della colonna estensimetrica, dovrà essere perfettamente efficiente;
- la miscela di cementazione dovrà essere costituita da acqua, cemento e bentonite rispettivamente in proporzione di 100, 30 e 5 parti in peso;

5.1.8.5 Installazione

La posa in opera dei tubi estensimetrici o estenso-inclinometrici dovrà avvenire in accordo con le seguenti modalità:

- lavaggio accurato con acqua pulita del foro di sondaggio;
- preassemblaggio dei tubi;
- montaggio del tappo di fondo sul primo spezzone di tubo, già munito di manicotto, e fissaggio dell'estremità inferiore del tubo per l'iniezione della miscela cementizia; nel caso in cui il tappo di fondo sia provvisto di apposita valvola unidirezionale per l'iniezione della miscela tale operazione non sarà necessaria;
- inserimento del primo spezzone di tubo nel foro (in terreni sotto falda riempire il tubo di acqua per contrastare la spinta di Archimede e favorirne l'affondamento);
- bloccaggio del tubo mediante apposita morsa;
- inserimento dello spezzone di tubo successivo;
- allentamento della morsa per permettere di calare il tubo nel foro (riempiendolo d'acqua se necessario) fissando nel contempo il tubo di iniezione;
- bloccaggio del tubo con la morsa;
- prosecuzione delle operazioni descritte fino al completamento della colonna, annotando la lunghezza dei tratti di tubo e la posizione dei manicotti;
- cementazione del tubo estensimetrico, da eseguire a bassissima pressione, in ogni caso non superiore a 200 kPa, attraverso il tubo di iniezione o attraverso la valvola di fondo, osservando la risalita della miscela cementizia all'esterno del tubo estensimetrico; il rivestimento di perforazione dovrà essere estratto, operando solo a trazione e senza rotazione, non appena la miscela appare in superficie; nella fase di estrazione del rivestimento il rabbocco della miscela potrà essere eseguito da testa foro, per mantenere il livello costante a p.c.; qualora si noti l'abbassamento del livello della miscela il rabbocco dovrà continuare nei giorni successivi;
- accurato lavaggio con acqua pulita dell'interno del tubo estensimetrico mediante attrezzo a fori radiali;
- verifica dell'integrità e della continuità della strumentazione con apposita sonda testimone. Il controllo è parte integrante dell'installazione e dovrà effettuarsi per tutta la profondità dello strumento; Il controllo consiste nel fare scorrere la sonda testimone fino a fondo foro; durante tale operazione la sonda testimone non dovrà incontrare ostacoli, né in discesa né in risalita;
- installazione a testa foro di un chiusino di protezione in acciaio verniciato; il chiusino di protezione, che dovrà essere ben cementato al terreno, dovrà sporgere di almeno di 10 cm dalla sommità del tubo inclinometrico, dovrà essere provvisto di un coperchio con chiusura antigelo e dotato di lucchetto e chiavi che dovranno essere consegnate alla Società; nel caso di installazione in luoghi aperti al traffico veicolare o pedonale (strade, piazzali, marciapiedi), o quando richiesto dalla Società, in luogo del chiusino standard dovrà essere installato idoneo chiusino carrabile in ghisa con corpo in cemento, posto in opera a filo terreno; in alcune particolari circostanze potrà essere richiesta l'installazione di doppio chiusino (chiusino interno ribassato in acciaio, sormontato da chiusino esterno carrabile in ghisa).

Al termine delle operazioni di installazione e cementazione, non prima di 10 ÷ 14 giorni dall'installazione, contestualmente all'inizio del monitoraggio, si dovrà verificare la funzionalità della

tubazione estensimetrica attraverso il controllo della continuità e dell'allineamento dei riscontri di misura.

Le operazioni di collaudo e la lettura iniziale di riferimento saranno eseguite dalla Società incaricata del successivo monitoraggio, se necessario e alla presenza della Società.

Per i dettagli circa tali operazioni si rimanda ai paragrafi 5.2.5.3.e 5.2.6.3 delle presenti Norme Tecniche d'Appalto.

5.1.8.6 Documentazione

La documentazione dovrà comprendere:

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2.
- stratigrafia del foro di sondaggio (se eseguito a carotaggio continuo);
- caratteristiche del tubo estensimetrico installato;
- caratteristiche della miscela utilizzata per la cementazione del tubo e quantità assorbita durante la cementazione;
- schema di installazione nel foro del tubo estensimetrico;

5.1.9 ESTENSIMETRO AD ASTE

5.1.9.1 Generalità

Le misure con estensimetri da foro consentono di monitorare gli spostamenti relativi tra la testa di un foro di sondaggio comunque orientato ed un ancoraggio fissato in profondità all'interno dello stesso; in un singolo foro di sondaggio possono essere posizionati più estensimetri ad asta con ancoraggi a diverse profondità.

5.1.9.2 Normative e specifiche di riferimento

- ASTM D 4403 - Standard Practice for Extensometers Used in Rock

5.1.9.3 Caratteristiche dell'attrezzatura

Gli estensimetri ad asta a singola base (ancoraggio) o multibase saranno costituiti dai seguenti elementi:

- testa di misura in ferro zincato ad una o più basi con alloggiamenti in acciaio inox per i comparatori e/o trasduttori lineari di spostamento protetti da tappo in plastica, dotata di coperchio di protezione a tenuta stagna;
- riscontri di lettura con astine filettate di lunghezza non inferiore a 150 mm riposizionabili;
- aste di misura in acciaio con idoneo sistema di accoppiamento e dotate di tubazione rigida di protezione in PVC o acciaio;
- ancoraggi profondi in acciaio ad aderenza migliorata di lunghezza non inferiore a 500 mm da cementare alle pareti del foro;
- sistema di collegamento tra gli ancoraggi e le aste di misura;
- tubo di iniezione della malta cementizia.

5.1.9.4 Preparazione del foro

Il foro per l'installazione di basi estensimetriche ad asta dovrà avere diametro non inferiore a 101 mm nel caso di estensimetri fino a 3 basi di misura e non inferiore a 127 mm nel caso di estensimetri fino a 6 basi di misura e dovrà avere una lunghezza superiore di almeno 50 cm della lunghezza relativa alla base di ancoraggio più profonda.

5.1.9.5 Installazione

Al termine dell'esecuzione del foro si provvederà ad installare nel foro gli estensimetri ad asta, avendo cura di posizionare gli ancoraggi esattamente alle profondità indicate dal progetto delle indagini o dalla Società.

Particolare cura dovrà essere posta nell'accoppiamento tra le aste e la testa di misura in superficie; una volta che tutte le parti della strumentazione saranno correttamente posizionate si provvederà a cementare gli ancoraggi in profondità impiegando l'apposito tubo di iniezione pompando la miscela cementizia dal fondo del foro a bassa pressione, avendo cura di non causare movimenti alle aste estensimetriche installate. La cementazione degli ancoraggi profondi avverrà successivamente alla cementazione della testa di misura in superficie, da eseguirsi con cemento a

presa rapida.

A presa avvenuta si procederà alla regolazione dello zero iniziale impiegando un comparatore centesimale o un trasduttore lineare di spostamento ed agendo sulla vite di regolazione della testa di misura, con esecuzione di almeno tre misure di riscontro.

Le misure di deformazione dovranno sempre essere accompagnate da misure di temperatura dell'aria, della superficie della roccia e del sistema di estensimetri eseguite all'interno della testa dell'estensimetro.

5.1.9.6 Documentazione

La documentazione dovrà comprendere:

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2.
- stratigrafia del foro di sondaggio (se eseguito a carotaggio continuo);
- diametro del foro di sondaggio;
- quota assoluta o relativa della testa di misura;
- tipo di strumentazione installata;
- caratteristiche della miscela utilizzata per la cementazione;
- schema di installazione nel foro degli estensimetri con indicazione della profondità degli ancoraggi;
- risultati della calibrazione iniziale con indicazione dello zero iniziale espresso in centesimi di millimetro, della temperatura dell'aria, della roccia e del sistema estensimetrico;
- documentazione di tutte le misure eseguite.

5.1.10 ESTENSIMETRO A FILO

5.1.10.1 Generalità

Le misure con estensimetri a filo consentono di monitorare gli spostamenti relativi tra due punti di riscontro superficiali posti a distanza massima di 40 m.

Il sistema trova la sua principale applicazione nel controllo superficiale di movimenti franosi, posizionando un punto nell'area in frana ed un punto fisso all'esterno dell'area in frana.

5.1.10.2 Normative e specifiche di riferimento

- ASTM D 4403 - Standard Practice for Extensometers Used in Rock

5.1.10.3 Caratteristiche dell'attrezzatura

Gli estensimetri a filo saranno costituiti dai seguenti elementi:

- pilastro di fissaggio di valle, rigidamente fissato al terreno mediante una piastra di fondazione gettata in opera o ancoraggi costituiti da barre ad aderenza migliorata di lunghezza non inferiore a 50 cm cementati in fori di diametro adeguato;
- pulegge di rinvio intermedie, rese solidali al terreno mediante ancoraggi costituiti da barre ad aderenza migliorata di lunghezza non inferiore a 50 cm cementati in fori di diametro adeguato; la frequenza delle pulegge di rinvio sarà adeguata alla lunghezza del filo di misura e alla topografia della zona di misura e, in ogni caso, non dovrà risultare inferiore ad 1 puleggia ogni 5 m di filo;
- pilastro di monte, rigidamente fissato al terreno mediante una idonea piastra di fondazione o mediante ancoraggi costituiti da barre ad aderenza migliorata di lunghezza non inferiore a 50 cm cementati in fori di diametro adeguato, dotato di puleggia terminale e sistema di tesatura, costituito ad esempio da un contrappeso o da una molla a tensione calibrata;
- sistema di lettura collegato al filo o al contrappeso, costituito da una boccia solidale ad un riferimento fisso costituito ad esempio dal supporto della puleggia di rinvio o dal corpo del pilastro di monte al cui interno scorre una astina riposizionabile che rileva i movimenti del filo o del contrappeso a cui è fissata; le letture di spostamento possono essere effettuate con comparatore centesimale o con trasduttore lineare elettromeccanico, eventualmente collegato ad un sistema automatico di registrazione;
- filo in invar, di lunghezza adeguata alla distanza tra i riferimenti di misura, con adeguata protezione costituita da una tubazione in PVC pesante o acciaio di diametro interno non inferiore a 150 mm, atta ad evitare punti di contatto accidentali con animali e a proteggere il filo dall'azione del vento; la tubazione di protezione dovrà essere dotata di adeguati sistemi di supporto solidamente ancorati al terreno e distribuiti con frequenza non inferiore ad un supporto ogni 5 m di tubo.

5.1.10.4 Installazione

Nell'installazione dei pilastri di valle e di monte e delle pulegge di rinvio, la cui posizione sarà conforme alle indicazioni fornite dal progetto delle indagini o dalla Società, particolare cura dovrà essere posta nell'assicurare un perfetto accoppiamento con il terreno.

Dopo il posizionamento del filo e la sua tesatura dovrà essere effettuata una calibrazione iniziale di zero ottenuta dalla media di almeno quattro distinte letture eseguite con comparatore centesimale o centralina di lettura portatile in caso di impiego di trasduttori elettromeccanici di spostamento.

5.1.10.5 Documentazione

La documentazione dovrà comprendere:

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2.
- tipo di strumentazione installata;
- schema di installazione con indicazione della posizione dei pilastri di valle e di monte e delle pulegge di rinvio;
- coordinate e quota assoluta o relativa dei pilastri di monte e di valle;
- risultati della calibrazione iniziale con indicazione dello zero iniziale espresso in centesimi di millimetro, della temperatura dell'aria e del sistema estensimetrico;
- documentazione di tutte le misure eseguite.

5.1.11 CLINOMETRO DI SUPERFICIE

5.1.11.1 Generalità

L'installazione di un clinometro di superficie consente, attraverso misure ripetute nel tempo, la determinazione della variazione di inclinazione di una parete rocciosa o di singoli blocchi rocciosi.

5.1.11.2 Caratteristiche della strumentazione

La strumentazione dovrà essere costituita da:

- clinometro di superficie biassiale fisso dotato di appositi sensori servoaccelerometrici o magneto-resistivi per la misura dell'inclinazione, a;a;rispondenti alle seguenti specifiche tecniche:

	sonde magnetoresistive	sonde a servoaccelerometri
- campo di misura	$\pm 10^\circ$	$\pm 15^\circ$
- risoluzione	0.05% F.S.	0.001% F.S.
- ripetibilità	0.5% F.S.	0.01% F.S.
- sensibilità	1/10.000 sen a	1/20.000 sen a
- temperatura di esercizio	-20 , +70°C	-20 , +70°C
- assetto azimuthale	<0.5°	<0.5°
- segnale elettrico in uscita	4 , 20 mA	4 , 20 mA

- staffa di supporto per il fissaggio alla parete con possibilità di regolazione tridirezionale dello strumento;
- cavo elettrico a 6 conduttori schermato, di collegamento tra il clinometro e il pannello di misura, conforme alle specifiche tecniche di cui al paragrafo 5.1.15 delle presenti Norme Tecniche d'Appalto;
- pannello di centralizzazione e misura dotato di connettori per l'esecuzione delle misure con centralina di lettura e alimentazione portatile; il pannello dovrà essere dotato di chiusura con lucchetto e chiavi che saranno consegnate alla Società.

L'utilizzo di strumentazione con caratteristiche diverse da quelle sopra descritte dovrà essere subordinato a preventiva autorizzazione da parte della Società.

5.1.11.3 Installazione

Nell'installazione del clinometro particolare cura dovrà essere posta nell'assicurare un perfetto accoppiamento della staffa di supporto con la parete rocciosa.

L'ubicazione dello strumento e l'orientazione degli assi di misura dovranno essere conformi alle indicazioni fornite nel progetto delle indagini o dalla Società,

Dopo l'installazione dello strumento dovrà essere effettuata una calibrazione iniziale di zero ottenuta dalla media di almeno 4 distinte letture eseguite con centralina di lettura portatile attraverso il pannello di misura.

5.1.11.4 Documentazione

La documentazione da fornire al termine dell'installazione dovrà comprendere:

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2.
- schema di installazione del clinometro con indicazione dell'orientazione degli assi di misura (sensori);
- risultati della calibrazione iniziale con documentazione di tutte le misure effettuate;
- certificato di taratura del clinometro, con indicazione della sensibilità iniziale e della deriva strumentale, di data non anteriore di un anno la data di posa, qualora richiesto.

5.1.12 FESSURIMETRO

5.1.12.1 Generalità

Lo strumento, costituito da una barra metallica le cui estremità sono ancorate alla roccia, consente di misurare gli spostamenti relativi tra i due lati di una frattura in roccia, verificandone le variazioni di apertura nel tempo.

5.1.12.2 Normative e specifiche di riferimento

- ASTM D 4403 - Standard Practice for Extensometers Used in Rock

5.1.12.3 Caratteristiche dell'attrezzatura

Il fessurimetro è costituito dai seguenti elementi:

- due bulloni di ancoraggio da fissare sui lati della frattura, della lunghezza non inferiore a 30 cm in acciaio ad aderenza migliorata;
- due snodi sferici resi solidali ai bulloni di ancoraggio;
- asta di acciaio inox, della lunghezza di almeno 500 mm, che scorre all'interno di un tubo di protezione (in alluminio anodizzato o in PVC), collegata a una testa di lettura solidale, tramite interposizione di uno snodo sferico, ad uno dei due ancoraggi, consentendo di rilevare gli spostamenti relativi tra i due ancoraggi anche se non complanari al piano dello strumento;
- testa di lettura con alloggiamento in acciaio inox per i comparatori e/o per i trasduttori lineari di spostamento, dotata di tappo di protezione in plastica e riscontro di lettura riposizionabile con campo di misura (escursione totale dello strumento) non inferiore a 100 mm.

5.1.12.4 Installazione

Nell'installazione del fessurimetro, la cui ubicazione sarà conforme alle indicazioni fornite dal progetto delle indagini o dalla Società, particolare cura dovrà essere posta nell'assicurare un perfetto accoppiamento degli ancoraggi con la roccia. A tale scopo, dopo aver realizzato i due fori per l'inserimento degli ancoraggi, potrà essere utilizzato cemento a presa rapida o resina.

Dopo l'installazione del fessurimetro dovrà essere effettuata una calibrazione iniziale di zero ottenuta dalla media di almeno 4 distinte letture eseguite con comparatore centesimale o centralina di lettura portatile in caso di impiego di trasduttori elettromeccanici di spostamento.

5.1.12.5 Documentazione

La documentazione dovrà comprendere:

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2.
- schema di installazione del fessurimetro;
- documentazione delle letture di calibrazione iniziali.

5.1.13 CELLA DI PRESSIONE DA FORO

5.1.13.1 Generalità

La cella di pressione da foro consente, attraverso misure ripetute nel tempo, la determinazione delle variazioni di tensione in un ammasso roccioso, indotte da una modifica delle condizioni di sollecitazione esterne.

Le celle di pressione vengono generalmente posizionate in un foro di sondaggio in numero di tre, di cui due ortogonali tra loro e l'altra a 45° dalle due.

5.1.13.2 Caratteristiche dell'attrezzatura

L'attrezzatura consisterà in:

- cella di pressione idraulica, costituita da un martinetto piatto dello spessore di circa 6 mm, di dimensioni di 70 ÷ 100 mm in larghezza per 150 ÷ 200 mm in lunghezza, contenente olio disaerato (a basso coefficiente di dilatazione termica) in pressione e collegata attraverso un tubicino indeformabile tipo Rilsan in poliammide ($\varnothing = 6$ mm, sp. = 2 mm) alla testa di lettura; la pressione nominale di esercizio della cella (fino a un massimo di 200 bar) verrà specificata nel progetto delle indagini o dalla Società;
- testa di lettura con alloggiamento in acciaio inox per i comparatori o per i trasduttori lineari di spostamento, dotata di tubicino inox e valvola per la pressurizzazione e di tappo di protezione in plastica; in alternativa al trasduttore lineare di spostamento potrà essere impiegato un trasduttore di pressione conforme alle seguenti specifiche tecniche:
 - campo di misura: da definirsi
 - sovraccarico: 30% del F.S.
 - sensibilità: 0.01% del F.S.
 - precisione: 0.3% del F.S.
 - segnale elettrico in uscita: 4 , 20 mA
 - temperatura d'esercizio: -10 , +55°C.
 - materiale: acciaio inox
- aste di manovra apposite per l'inserimento della cella di pressione nel foro in modo da controllarne l'esatta orientazione;
- pompa idraulica manuale per la pressurizzazione della cella;
- tubo di iniezione della malta cementizia.

5.1.13.3 Preparazione del foro

Il foro per l'installazione delle celle di pressione dovrà avere un diametro non inferiore a 101 mm e comunque tale da permetterne l'inserimento e la successiva cementazione; il foro non dovrà essere rivestito.

5.1.13.4 Installazione

L'installazione della strumentazione dovrà avvenire secondo quanto specificato:

- inserimento delle celle di pressione, già assemblate con il tubicino della lunghezza definitiva, con le apposite aste di manovra in modo da controllarne l'esatta orientazione; le celle dovranno essere preferibilmente in numero di tre per ogni foro, di cui due ortogonali tra loro e l'altra a 45° dalle due; particolare cura dovrà essere posta nella individuazione a testa foro delle diverse teste di lettura, che dovranno essere numerate in modo da non creare confusione nelle successive fasi di lettura;
- cementazione del foro partendo da fondo foro da eseguire con apposito tubo di iniezione; la malta cementizia dovrà avere un modulo elastico superiore a quello dell'ammasso roccioso circostante;
- a presa avvenuta, pressurizzazione della cella mediante pompa idraulica manuale.

Dopo la pressurizzazione della cella dovrà essere effettuata una calibrazione iniziale di zero ottenuta dalla media di almeno 4 distinte letture eseguite con comparatore centesimale o centralina di lettura portatile in caso di impiego di trasduttori elettrici o elettromeccanici di spostamento.

5.1.13.5 Documentazione

La documentazione dovrà comprendere:

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2.
- schema di installazione della cella di pressione (profondità e orientazione) nel foro di sondaggio;
- documentazione delle letture di calibrazione iniziali.

5.1.14 SISTEMI DI ACQUISIZIONE DATI

5.1.14.1 Generalità

Le unità di acquisizione dati consentono l'acquisizione automatica, secondo cadenze prefissate e modificabili in qualsiasi momento, dei segnali provenienti da appositi trasduttori elettrici, fornendo loro nel contempo l'opportuna alimentazione. Le unità sono completamente autonome sia dal punto di vista dell'alimentazione elettrica che della memorizzazione dei dati: devono poter essere abbandonate in campo anche nelle più disagiate condizioni climatiche e/o ambientali. Il loro uso consente di ottenere un gran numero di dati senza la necessità di recarsi sul posto per la misura manuale.

5.1.14.2 Caratteristiche delle apparecchiature

5.1.14.2.1 Trasduttore di pressione con datalogger per misure di livello

Il datalogger è uno strumento costituito da un trasduttore di pressione ed un eventuale sensore per la misura della temperatura e conducibilità, entrambi incorporati in un contenitore cilindrico a tenuta di acciaio di diametro opportuno. Viene utilizzato in foro strumentato con tubazione piezometrica di diametro minimo 1.5 pollici.

Presenta le seguenti caratteristiche:

- range di pressione variabile in funzione della lunghezza del cavo e/o della profondità del foro, comunque non superiore a 0 - 50 m di colonna di acqua
- risoluzione in termini di pressione < 0.01% F.S.;
- precisione < ± 0.1 F.S.;
- temperatura di funzionamento da 0° a + 70°;
- alimentazione da batteria incorporata con durata di circa 5 anni;
- intervallo di misura variabile da 0.5 secondi a 24 ore;
- interfaccia seriale RS485 o USB
- memoria interna di capacità non inferiore a 300.000 dati
- uscita cavo in PUR con tre conduttori e tubetto di compensazione della pressione barometrica;
- lunghezza del cavo da precisare;
- anello antiestrusione di diametro adeguato alla strumentazione piezometrica;
- software di acquisizione configurato per la fornitura dei dati elaborati in formato testo.

5.1.14.2.2 Apparecchiatura a 2 canali:

Queste apparecchiature, alloggiare in "case" di adeguate dimensioni e geometria ed alimentate mediante batterie sostituibili o ricaricabili, possono essere utilizzate anche all'interno di fori di sondaggio per la misura di uno o due parametri (esempio la misura del livello e la temperatura) e sono costituite dai seguenti elementi:

- scheda elettronica a microprocessore con memoria tamponata per la memorizzazione dei parametri operativi con capacità non inferiore a 8 Kbyte;

- scheda PCMCIA per la memorizzazione dei dati acquisiti con capacità non inferiore a 128 Kbyte;
- eventuale memory card (con formato standard, tipo SD, MMC, SM, XD,...) di capienza non inferiore a 256 Mb;
- porta seriale RS232, RS485 o USB optoisolata per collegamento a PC;
- connettori tipo MIL per il collegamento rapido dei trasduttori;
- scheda di ingresso a multiplexer con relè per ciascun ingresso;
- convertitore A/D autorange e autozero a doppia rampa con risoluzione ± 20000 punti;
- ingresso digitale (contatore a 4 cifre);
- protezioni elettriche a 4 livelli su ciascun canale di ingresso (opzionali);
- armadio di contenimento IP67 per le versioni all'aperto e IP68 per le versioni da inserire in fori di sondaggio. Livello di protezione inferiore (IP65) dovrà essere preventivamente autorizzata dalla Società.

Le apparecchiature installate devono in ogni caso soddisfare i seguenti requisiti:

- autonomia di almeno 4 mesi con 2 acquisizioni giornaliere;
- possibilità di impostare via software i seguenti parametri:
 - range di scansione;
 - range di acquisizione;
 - alimentazione dei sensori;
 - fondo scala elettrico;
 - linearizzazione del segnale mediante impostazione del gain e dello zero per la conversione in unità ingegneristiche.
- temperatura di funzionamento da -20° a $+70^{\circ}$;
- possibilità di misurare sensori in corrente (4 , 20 mA), in tensione, strain-gage, Pt100, fornendo loro una tensione variabile da 2 a 24 V dc (scelta canale per canale) o una corrente di riferimento (1 mA);

5.1.14.2.3 Apparecchiature pluricanali

In questo caso le apparecchiature, alimentate mediante batterie sostituibili o ricaricabili, dovranno essere espandibili con schede di espansione da 16 canali analogici ciascuno fino ad un massimo di 96 canali analogici e saranno costituite dai seguenti elementi:

- scheda elettronica a microprocessore con memoria tamponata per la memorizzazione dei parametri operativi con capacità non inferiore a 8 Kbyte;
- scheda PCMCIA per la memorizzazione dei dati acquisiti con capacità non inferiore a 128 Kbyte;
- eventuale memory card (con formato standard, tipo SD, MMC, SM, XD,...) di capienza non inferiore a 256 Mb;
- doppia porta seriale RS232 optoisolata con possibilità di collegamento in cascata di più unità di acquisizione dati, riconoscibili mediante indirizzo, fino ad un massimo di 64 unità;

- scheda di ingresso a multiplexer con relè per ciascun ingresso;
- convertitore A/D autorange e autozero a doppia rampa con risoluzione ± 20000 punti;
- protezioni elettriche a 4 livelli su ciascun ingresso analogico (opzionali);
- display alfanumerico a cristalli liquidi e tastiera per la programmazione di tutti i parametri operativi anche senza la disponibilità di un PC;
- relè generale di massimo e minimo attivabile automaticamente in caso di superamento delle soglie di allerta;
- armadio di contenimento IP67 in lamiera verniciata o poliestere rinforzato, con pressacavi a tenuta per gli ingressi dei cavi provenienti dai sensori.

Le apparecchiature installate dovranno in ogni caso soddisfare i seguenti requisiti:

- autonomia di almeno 2 mesi con 2 acquisizioni giornaliere;
- possibilità di impostare via software e tramite il display e la tastiera delle unità i seguenti parametri:
 - range di scansione;
 - range di acquisizione;
 - alimentazione dei sensori;
 - fondo scala elettrico;
 - linearizzazione del segnale mediante impostazione del gain e dello zero per la conversione in unità ingegneristiche;
 - soglie di minima e di massima per eventuali segnali di allerta.
- possibilità di leggere sul display i dati memorizzati dalla RAM-CARD;
- temperatura di funzionamento da -20° a $+70^{\circ}$ C.

5.1.14.3 Installazione

Le unità di acquisizione dati dovranno essere installate in luoghi adeguatamente protetti sia contro atti di vandalismo che da condizioni climatiche particolarmente avverse. In quest'ultimo caso dovranno essere ubicate all'interno di armadi in vetroresina tipo stradale.

Le connessioni e gli ammaraggi dei cavi dei sensori dovranno essere fatte a regola d'arte garantendo una buona connessione elettrica con le morsettiere o connettori di ingresso.

Al termine dell'installazione le unità andranno adeguatamente testate in tutte le loro funzioni (scansioni, memorizzazione, trasmissione dati, ecc.).

5.1.14.4 Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- schemi di cablaggio (ingressi, eventuale linea di alimentazione e collegamenti seriali);
- ubicazione plano-altimetrica dell'unità di acquisizione;
- misure di zero di tutta la sensoristica installata;
- tabella con indicazione dei sensori in ingresso, con i parametri operativi impostati canale per canale (alimentazione, scala, gain, zero, soglie di allerta, ecc.);
- eventuali schede aggiuntive (convertitori di seriale, convertitori per fibra ottica, ecc.);

MSQX-MSD-Rev0

- eventuali note e osservazioni.
- certificato di taratura non inferiore a 1 anno, nel caso di trasduttore di pressione con datalogger.

5.1.15 CAVI ELETTRICI DI COLLEGAMENTO

5.1.15.1 Generalità

I cavi elettrici dovranno essere adatti per la trasmissione del segnale e realizzati in esecuzione robusta, adatti per ambienti umidi e per l'immersione in getti di calcestruzzo. Dovranno essere del tipo schermato, con guaina esterna in poliuretano o silicone. Lo schermo potrà essere realizzato con treccia di rame o foglio di alluminio: in questo ultimo caso è richiesto il filo di drenaggio in rame. La sezione dei conduttori sarà sufficiente a garantire la corretta tensione di alimentazione del sensore considerando la lunghezza del tratto di cavo e quindi la relativa caduta di potenziale.

5.1.15.2 Caratteristiche tecniche

Cavi a 6 conduttori:

Tali cavi, di diametro non superiore a 9 mm, sono costituiti da 6 conduttori di sezione pari a 0.22 mm².

Cavi multipolari:

Tali cavi, di diametro non superiore a 15 mm, sono costituiti da 15 coppie di conduttori di sezione pari a 0.22 mm².

Tutti i cavi impiegati dovranno soddisfare le seguenti specifiche tecniche:

- conduttori in rame elettrolitico ricotto in formazione flessibile;
- isolamento in silicone o poliuretano per la guaina esterna e in PVC o poliolefina reticolata per i conduttori;
- schermo in treccia di rame; è consentito in alternativa l'uso di schermo in alluminio, con conduttore di drenaggio in rame stagnato;
- norme applicabili: CEI 20-11 CEI 20-29 CEI 46-6;
- isolamento guaina esterna:
 - tensione di prova: 300 V;
 - tensione di esercizio: 300 Vrms;
 - resistenza di isolamento > 200 MW/Km;
- isolamento guaina di separazione conduttori:
 - tensione di prova: 300 V;
 - tensione di esercizio: 300 Vrms;
 - resistenza di isolamento > 200 MW/Km;
- percentuale calza:
 - > 90% per cavi con schermo a calza;
 - > 60% per cavi con schermo a calza e schermo elettrostatico in nastro di alluminio e poliestere;
- caratteristiche ignifughe: non propagante l'incendio (secondo la norma UL 94 VO).

5.2 LETTURE E RILIEVI STRUMENTALI

5.2.1 MISURA IN PIEZOMETRO A TUBO APERTO E IN PIEZOMETRO TIPO CASAGRANDE

5.2.1.1 Generalità

La lettura consiste nel rilievo della profondità della superficie piezometrica, mediante misurazione con apposita sondina elettrica (freatimetro), da eseguirsi all'interno di un piezometro a tubo aperto o in un piezometro tipo Casagrande installato in un foro di sondaggio verticale.

5.2.1.2 Caratteristiche della strumentazione

La strumentazione per la misura del livello o profondità della superficie piezometrica dovrà essere costituita da una sondina elettrica (freatimetro), costituita da un puntale metallico collegato ad un cavo metrato o ad un nastro centimetrato avvolto su di un rullo, in grado di segnalare, attraverso doppio segnale acustico e luminoso, il raggiungimento del pelo libero dell'acqua nel tubo piezometrico. Il puntale o scandaglio dovrà essere costituito da materiale anticorrosivo e dovrà avere un diametro non superiore a 12 mm. Il cavo metrato (o nastro centimetrato) dovrà avere una lunghezza minima di 50 m e comunque non inferiore alla lunghezza del tubo piezometrico. Cavi di lunghezza pari a 100 o 200 m potranno essere esplicitamente richiesti dal piano di indagini.

5.2.1.3 Modalità esecutive

Il rilievo della profondità del livello dell'acqua dovrà essere eseguito introducendo il puntale della sondina elettrica nel tubo piezometrico e rilevando la profondità alla quale si manifesta il segnale acustico e luminoso. Al fine di determinare con precisione tale livello, la misura dovrà essere eseguita rispetto all'estremità della tubazione piezometrica e quindi riportata alla quota del terreno (p.c.), indicando espressamente la distanza esistente tra l'estremità della tubazione e il p.c. Inoltre la misura dovrà essere ripetuta diverse volte sollevando e abbassando il puntale all'interno del tubo. La precisione richiesta per la misura è di ± 1 cm.

Nel caso di piezometro tipo Casagrande, la misura del livello dovrà essere eseguita in entrambi i tubi, verificando che le due misure non differiscano di più di qualche centimetro. Qualora le due misure dovessero differire di un valore superiore alla lunghezza della cella porosa del piezometro (10 , 15 cm) si dovrà immediatamente avvertire la Società o la Società affinché si possa procedere alle necessarie operazioni di spurgo. Lo spurgo della cella piezometrica si otterrà mediante accurato lavaggio, da eseguire iniettando acqua pulita a bassa pressione da uno dei due tubicini fino alla fuoriuscita di acqua limpida dall'altro tubicino. La verifica del buon esito dell'operazione di spurgo dovrà essere eseguita non prima di 48 ore dall'avvenuto lavaggio.

Dopo aver effettuato la misura piezometrica, tanto in piezometro a tubo aperto, quanto in piezometro Casagrande, verrà verificata la profondità totale del tubo piezometrico oggetto di monitoraggio; ciò potrà avvenire utilizzando uno scandaglio, o con l'ausilio della stessa strumentazione freatimetrica.

5.2.1.4 Documentazione

La documentazione dovrà comprendere:

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2.
- ubicazione plano-altimetrica del piezometro;

MSQX-MSD-Rev0

- tabella con le letture eseguite (profondità in m) e relativa data;
- eventuale file dati conforme a quanto indicato ai capitoli 5.4.1 e 5.4.3;
- eventuali note e osservazioni.

5.2.2 MISURA IN PIEZOMETRO ELETTRICO O IN TRASDUTTORE DI PRESSIONE CON DATALOGGER

5.2.2.1 Generalità

La lettura consiste nella misura del segnale elettrico e/o del livello piezometrico del piezometro mediante una centralina o computer portatile .

5.2.2.2 Caratteristiche della strumentazione di lettura

La strumentazione di lettura sarà composta da:

- centralina elettronica digitale dotata di sorgente per l'alimentazione elettrica dei sensori, con tensione di uscita adeguata al sensore da misurare, circuiti di amplificazione del segnale elettrico e display digitale a 4^{1/2} digit (19999) con indicazione in mV, mA Hz, o preferibilmente, in unità ingegneristiche;
- personal computer con adeguato software di acquisizione, nel caso di trasduttore di pressione;
- cavo di collegamento al terminale di misura.

5.2.2.3 Modalità esecutive

Nel caso di acquisizione con centralina elettronica la misura dovrà essere effettuata solamente dopo la completa stabilizzazione della lettura indicata dal display digitale.

Nel caso di acquisizione con trasduttore di pressione e datalogger la lettura sarà immediata dietro avvio del software di acquisizione.

5.2.2.4 Documentazione

La documentazione dovrà comprendere:

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2.
- ubicazione plano-altimetrica del piezometro;
- eventuali note e osservazioni.

Nel caso di acquisizione con centralina:

- tabella con le letture eseguite (mV, mA, Hz o pressioni in kPa) e relativa data;
- nel caso di letture in mV, mA, Hz indicazione del fattore di trasformazione in kPa (retta di calibrazione del trasduttore piezometrico) e tabella dei valori trasformati;

Nel caso di acquisizione con trasduttore di pressione e datalogger:

- dati scaricati su supporto informatico.

5.2.3 MISURA INCLINOMETRICA

5.2.3.1 Generalità

La misura inclinometrica viene effettuata introducendo in un tubo inclinometrico, installato in un foro di sondaggio verticale, una sonda inclinometrica che, dotata di sensori servoaccelerometrici di elevata precisione, consente di misurare l'inclinazione del tubo in corrispondenza di una determinata sezione e, attraverso misure ripetute nel tempo, consente di misurare lo spostamento orizzontale del terreno.

5.2.3.2 Normative e specifiche di riferimento

- ASTM D 6230 - Standard Test Method for Monitoring Ground Movement Using Probe-Type Inclinometers

In ogni caso il fornitore dovrà attenersi a quanto di seguito specificato

5.2.3.3 Caratteristiche della strumentazione

La strumentazione per le misure inclinometriche dovrà essere costituita da:

- sonda inclinometrica biassiale, costituita da un corpo di acciaio inox munito di rotelle di guida con passo (intervallo di misura) di 500 mm o 600 mm (2 piedi), dotata di appositi sensori servoaccelerometrici per la misura dell'inclinazione, con campo di misura di $\pm 30^\circ$, sensibilità non inferiore a 1/20.000 sen α (≈ 50 mm/m) e assetto azimuthale non superiore a 0.5° ; i servoaccelerometri sono disposti su due piani ortogonali tra loro, dei quali uno parallelo alle scanalature di guida e l'altro perpendicolare ad esse;
- centralina portatile digitale, con appositi display per la lettura dei dati, eventualmente dotata di sistema di acquisizione;
- cavo elettrico di collegamento tra la sonda inclinometrica e la centralina di misura, con tacche vulcanizzate ogni 0.5 m (o ogni 0.6 m qualora il passo della sonda sia 600 mm) e lunghezza non inferiore a 50 m, con relativo rullo avvolgicavo; la distanza tra la prima tacca di riferimento del cavo e l'asse tra le rotelle superiori della sonda inclinometrica dovrà in ogni caso essere pari a 500 mm (o 600 mm per sonde con passo corrispondente); l'errore della metratura del cavo dovrà essere inferiore a 5 cm ogni 100 m e l'allungamento con carico di 20 kg inferiore allo 0.05%; il cavo dovrà inoltre garantire nel tempo la costanza della distanza tra le tacche di misura, da verificare con bindella metrica indeformabile ad intervalli regolari, non superiori a 1 anno;
- carrucola dotata di strozzacavo da installare sulla testa del tubo inclinometrico;
- sonda testimone per il controllo dei tubi inclinometrici prima dell'inizio di una serie di misure, con relativo rullo avvolgicavo.
- sonda spiralometrica, che può essere di tipo potenziometrico (estremità rotanti e sensore d'angolo potenziometrico con misuratore d'angolo analogico o digitale, passo 1m) oppure magnetometrico (con bussola a flusso magnetico "flux gate" a tre assi con autocompensazione di inclinazione e temperatura, passo 0,5m) che consenta la misura dell'azimuth del tubo in ogni sezione con una sensibilità non inferiore a $0.1^\circ/\text{m}$.

La scelta tra le due tipologie di sonde inclinometriche (passo da 500 mm o 600 mm) verrà

concordata preventivamente con la Società.

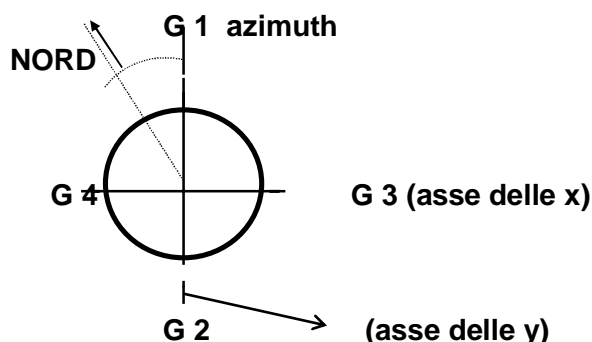
L'utilizzo di strumentazione con caratteristiche diverse da quelle sopra descritte dovrà essere subordinato a preventiva autorizzazione da parte della Società.

5.2.3.4 Collaudo della strumentazione e misura iniziale di riferimento

Il monitoraggio inclinometrico potrà eseguirsi non prima di 10 - 14 giorni dall'installazione della tubazione inclinometrica, e dovrà comunque essere preceduto dalle operazioni di collaudo e misura iniziale di riferimento, secondo quanto descritto di seguito:

- a) controllo dell'integrità della tubazione, analogamente a quanto avvenuto in fase di installazione, da eseguirsi calando nel foro una sonda testimone (di caratteristiche analoghe a quella da utilizzarsi per le successive misure), facendola scorrere lungo le guide del tubo fino a fondo foro, estraendola e quindi ripetendo l'operazione altre tre volte, dopo aver ruotato la sonda di 90° ogni volta che viene estratta dal foro. Il tubo inclinometrico verrà dichiarato idoneo se la sonda testimone sarà passata in tutte e quattro le guide senza incontrare ostacoli sia in discesa sia in risalita.

In questa fase inoltre verrà scelta la guida di riferimento (guida 1), orientata secondo la probabile direzione di movimento. Se ne misurerà l'azimuth geografico, definito come l'angolo positivo in senso antiorario formato dalla stessa guida 1 e il Nord magnetico, e si numereranno tutte le guide secondo lo schema seguente:



- b) controllo della verticalità da realizzarsi con una sonda inclinometrica: a seguito di tale verifica la deviazione dalla verticale rilevata dovrà essere inferiore al 2%; le modalità di esecuzione della lettura iniziale di verticalità dovranno essere conformi a quanto riportato nel paragrafo seguente.
- c) controllo della spirality, da realizzarsi con sonda spiralometrica: la spirality totale dovrà risultare inferiore a 0.5°/metro lineare.

5.2.3.5 Modalità esecutive

5.2.3.5.1 *misura spiralometrica*

La misura di spirality dovrà avvenire secondo le seguenti fasi:

- adozione di una chiara ed inequivocabile convenzione sui segni da applicare ai gradi di torsione oraria o antioraria della tubazione; in genere si considereranno valori positivi dell'angolo se il piede della colonna inclinometrica è ruotato in senso orario rispetto alla sezione di testa e

negativi in caso di rotazione in senso antiorario.

- installazione della carrucola strozzacavo sulla testa del tubo inclinometrico;
- misura ed annotazione della distanza tra la prima tacca di riscontro sul cavo e le ruote superiori della sonda spiralometrica;
- inserimento della sonda spiralometrica nel tubo inclinometrico con la rotella di riferimento lungo la guida di riferimento (guida 1), precedentemente contrassegnata da una tacca di riferimento a testa foro;
- inizio delle letture, che dovranno essere effettuate in discesa partendo dall'alto ad intervalli di 0.5 m per sonda magnetometrica ed 1m per sonda potenziometrica, attraverso l'acquisizione diretta dei dati;
- recupero della sonda spiralometrica e, una volta arrivata in superficie, rotazione della stessa di 90° in senso orario e nuovo inserimento della stessa nel tubo inclinometrico, con la rotella di riferimento nella guida posta a 90° dalla guida 1;
- esecuzione delle letture in discesa;

Qualunque altra modalità di esecuzione delle misure dovrà essere preventivamente autorizzato dalla Società.

5.2.3.5.2 misura inclinometrica

La misura inclinometrica dovrà avvenire secondo le seguenti fasi:

- installazione della carrucola strozzacavo sulla testa del tubo inclinometrico;
- misura ed annotazione della distanza tra la prima tacca di riscontro sul cavo e le ruote superiori della sonda inclinometrica;
- inserimento della sonda inclinometrica nel tubo inclinometrico e abbassamento della stessa fino a fondo foro; la sonda dovrà essere fatta scorrere, durante il primo inserimento nel tubo, con la rotella di riferimento lungo una guida prestabilita, precedentemente contrassegnata da una tacca di riferimento a testa foro (guida 1);
- attesa della completa stabilizzazione della sonda nei confronti della temperatura di fondo foro: i valori che appaiono sul display dovranno cioè risultare costanti;
- inizio delle letture, che dovranno essere effettuate in risalita partendo dal basso ad intervalli di 0.5 m (0.6 m per sonde di passo corrispondente), attraverso la registrazione manuale o l'acquisizione diretta dei dati;
- recupero della sonda inclinometrica e, una volta arrivata in superficie, rotazione della stessa di 180° e nuovo inserimento della stessa nel tubo inclinometrico, con la rotella di riferimento nella guida 2 (opposta alla guida 1);
- esecuzione delle letture in risalita, partendo sempre dal basso;
- recupero della sonda inclinometrica e, una volta arrivata in superficie, rotazione della stessa di 90° in senso orario rispetto alla guida 1 e nuovo inserimento della stessa nel tubo inclinometrico, con la rotella di riferimento nella guida 3;
- esecuzione delle letture in risalita, partendo sempre dal basso;

- recupero della sonda inclinometrica e, una volta arrivata in superficie, rotazione della stessa di 180° e nuovo inserimento della stessa nel tubo inclinometrico, con la rotella di riferimento nella guida 4 (opposta alla guida 3);
- esecuzione delle letture in risalita, partendo sempre dal basso.

L'esecuzione delle letture nelle guide 3 e 4 di cui all'elenco precedente potrà eventualmente essere omessa dietro specifica autorizzazione della Società.

5.2.3.6 Elaborazione misure

5.2.3.6.1 *Misura spiralometrica*

Nel caso di misure differenziali (sonda potenziometrica), per ogni intervallo di misura la coppia di valori registrati in discesa lungo due guide poste a 90° in senso orario ed espressi in gradi sessagesimali verranno elaborati come segue:

- sottrarre 90° ai singoli valori angolari misurati lungo la seconda guida (posta a 90° in senso orario dalla guida di riferimento (guida 1))
- per ogni quota mediare aritmeticamente i suddetti valori con quelli registrati lungo la guida 1
- normalizzare il valore medio portando a zero il valore del primo punto misurato (cioè sottraendo ad ogni dato il valore letto al primo punto), dopodiché si eseguirà la sommatoria di ogni singolo valore medio calcolato, ottenendo il grafico della variazione incrementale (azimut) della torsione (espressa in gradi) in funzione della profondità (m).

Nel caso di misure effettuate con sonda magnetometrica (angoli sempre espressi in gradi sessagesimali) ogni misura registrata lungo ognuna delle due guide (sempre poste a 90°) viene normalizzato portando a zero il valore del primo punto misurato (cioè sottraendo ad ogni dato il valore letto al primo punto), dopodiché viene effettuata la media dei valori ottenuti per ogni singola quota lungo ognuna delle guide; da questa elaborazione si ottiene direttamente il grafico dei gradi di spirality in funzione della profondità (m).

Qualunque altra modalità di elaborazione delle misure dovrà essere preventivamente autorizzato dalla Società.

5.2.3.6.2 *Misura inclinometrica*

L'elaborazione delle misure inclinometriche, se non altrimenti specificato da Tecne, dovrà essere effettuato dal basso, cioè mantenendo come punto di riferimento fisso il punto di misura più profondo.

I dati di spirality, qualora disponibili, dovranno essere utilizzati per correggere le elaborazioni delle misure inclinometriche relativamente all'azimuth.

5.2.3.7 Documentazione

La documentazione dovrà comprendere, per ogni misura:

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2.
- descrizione e caratteristiche del sistema di misura (sonda, centralina, passo misure);
- azimuth della guida di riferimento e schema della numerazione delle guide;
- descrizione dettagliata delle convenzioni di misura adottate e relativo schema grafico;
- tabulato con le letture di campagna;

- per la lettura di zero (primo monitoraggio):
 - misura iniziale di deviazione dalla verticale espressa in % rispetto alla lunghezza del tubo inclinometrico;
 - diagramma polare della deviazione, considerando l'azimuth definito per convenzione come l'angolo formato tra la risultante degli spostamenti e la direzione Est geografica, misurato positivamente in senso antiorario a partire dall'asse Est (salvo diverse angolazioni concordate con la Società);
 - misura iniziale della spirallatura (tabulato e rappresentazione grafica angolo/profondità);
 - grafico della risultante degli spostamenti e relativo grafico dell'azimuth in funzione della profondità, elaborati sia per punti sia per integrazione
- per ogni lettura successiva alla prima
 - grafico della risultante dello spostamento per punti in funzione della profondità, differenziale rispetto alla lettura di zero;
 - grafico della risultante dello spostamento (grafico per integrazione) in funzione della profondità, differenziale rispetto alla lettura di zero;
 - grafico dell'azimuth della risultante in funzione della profondità (azimuth definito per convenzione come l'angolo formato tra la risultante degli spostamenti e la direzione Est geografica, misurato positivamente in senso antiorario a partire dall'asse Est) per punti e per integrazione, differenziale rispetto alla lettura di zero;
 - indicazione numerica dello spostamento massimo, del relativo azimuth e della profondità da testa tubo
- diagramma polare della deviazione;
- eventuale file di dati sorgente, conforme a quanto indicato ai punti 5.4.1 e 5.4.4;
- file relativi ai dati di acquisizione e ai dati di elaborazione (in formato editabile)
- copia del certificato di taratura (sensibilità e assetto azimuthale) della catena di misura (sonda inclinometrica, cavo e centralina) in data non antecedente di sei mesi la data della serie di misure, qualora richiesto.

5.2.4 MISURA ESTENSIMETRICA INCREMENTALE TIPO INCREX

5.2.4.1 Generalità

La misura estensimetrica incrementale viene effettuata introducendo in un tubo guida, installato in un foro di sondaggio comunque inclinato, una sonda estensimetrica a posizionamento elettronico che consente di misurare, attraverso misure ripetute nel tempo, le variazioni di distanza relativa tra anelli di riferimento, precedentemente installati all'esterno del tubo a distanza di un metro l'uno dall'altro e resi solidali al terreno circostante al mezzo di cementazione.

Alla misura estensimetrica incrementale potrà associarsi la misura inclinometrica, qualora il tubo guida sia predisposto in tal senso. Per tutto ciò che riguarda l'eventuale monitoraggio inclinometrico, da compensarsi con relativa voce da Elenco Prezzi, si rimanda alla sezione corrispondente.

5.2.4.2 Caratteristiche della strumentazione

La strumentazione di misura dovrà essere costituita da:

- sonda di misura removibile a posizionamento elettronico, del diametro di 46 mm, al cui interno sono alloggiati appositi sensori ad induzione elettromagnetica con risoluzione di 1 mm, in grado di rilevare la posizione degli anelli di riferimento esterni, con precisione del sistema non inferiore a 0.01 mm;
- centralina portatile digitale, con apposito display per la lettura dei dati, e led per il controllo del corretto posizionamento della sonda in corrispondenza di ogni intervallo di misura;
- aste di manovra in fibra ad innesto rapido;
- testa di bloccaggio delle aste, dotata di sistema per la regolazione fine della posizione della sonda nel foro;
- cavo elettrico di collegamento tra la sonda e la centralina di misura, di lunghezza non inferiore a 50 m, con relativo rullo avvolgicavo;
- tubo di calibrazione della sonda alloggiato in apposita cassetta trasportabile, isolata termicamente.

5.2.4.3 Collaudo della tubazione estensimetrica e lettura iniziale di riferimento

Il monitoraggio estensimetrico potrà eseguirsi non prima di 10 - 14 dall'installazione della tubazione, e dovrà comunque essere preceduto dalle operazioni di collaudo e misura iniziale di riferimento, secondo quanto descritto di seguito:

- a) controllo dell'integrità della tubazione, analogamente a quanto avvenuto in fase di installazione, da eseguirsi calando nel foro una sonda testimone (di caratteristiche analoghe a quella da utilizzarsi per le successive misure), facendola scorrere lungo le guide del tubo fino a fondo foro, estraendola e quindi ripetendo l'operazione altre tre volte, dopo aver ruotato la sonda di 90° ogni volta che viene estratta dal foro. Il tubo estensimetrico verrà dichiarato idoneo se la sonda testimone sarà passata in tutte e quattro le guide senza incontrare ostacoli sia in discesa sia in risalita.
- b) Calibrazione iniziale della tubazione mediante sonda estensimetrica incrementale avente precisione non inferiore a 1 mm, registrando le differenze di lunghezza di tutti i tratti strumentati

rispetto alla lunghezza di riferimento di un metro.

- c) Controllo ed eventuale regolazione del valore di lettura al display della centralina, da eseguirsi dopo aver introdotto la sonda estensimetrica incrementale in apposito tubo di calibrazione; la regolazione dovrà avvenire a stabilizzazione termica avvenuta, tenendo conto della dilatazione termica del tubo di calibrazione
- d) Determinazione dello zero di riferimento, che dovrà avvenire eseguendo almeno quattro letture sulla medesima tubazione con calcolo del valore medio. Le letture sulla tubazione estensimetrica dovranno essere eseguite partendo da fondo foro, a stabilizzazione termica avvenuta, con passo di 1 m. La tubazione estensimetrica verrà dichiarata idonea se tutte le distanze relative tra i riscontri di misura installati risulteranno comprese entro la tolleranza di ± 5.0 mm rispetto alla distanza nominale di 1 m.

5.2.4.4 Modalità esecutive

Prima di ogni serie di misure la sonda estensimetrica incrementale dovrà essere introdotta nel tubo di calibrazione e il valore letto al display della centralina dovrà essere controllato, ed eventualmente regolato, a stabilizzazione termica avvenuta, tenendo conto della dilatazione termica del tubo di calibrazione.

La misura estensimetrica incrementale dovrà avvenire in risalita secondo le seguenti fasi:

- inserimento della sonda nel tubo guida e abbassamento della stessa fino a fondo foro;
- attesa della completa stabilizzazione della sonda nei confronti della temperatura di fondo foro: i valori che appaiono sul display dovranno risultare costanti;
- esecuzione delle letture, che dovranno essere effettuate in risalita partendo dal basso ad intervalli di 1 m, regolando la posizione della sonda in corrispondenza degli anelli di riferimento attraverso la testa di bloccaggio.

5.2.4.5 Documentazione

La documentazione dovrà comprendere, per ogni misura:

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2.
- descrizione e caratteristiche del sistema di misura (sonda, centralina);
- risultati della lettura iniziale di riferimento
- tabulato con le letture di campagna;
- grafico degli spostamenti differenziali in funzione della profondità.

5.2.5 MISURA ESTENSIMETRICA INCREMENTALE TIPO ISETH

5.2.5.1 Generalità

La misura estensimetrica incrementale viene effettuata introducendo in un tubo guida, installato in un foro di sondaggio comunque inclinato, una sonda estensimetrica a posizionamento meccanico che consente di misurare, attraverso misure ripetute nel tempo, le variazioni di distanza relativa tra riscontri di misura e posizionamento, installati a distanza di un metro l'uno dall'altro e resi solidali al terreno circostante a mezzo di cementazione.

5.2.5.2 Caratteristiche della strumentazione

La strumentazione di misura dovrà essere costituita da:

- sonda di misura removibile a posizionamento meccanico, con corpo in acciaio inox, al cui interno è alloggiato un trasduttore lineare di spostamento tipo LVDT con risoluzione di 1 mm, in grado di rilevare la posizione relativa dei riscontri di misura, con precisione del sistema non inferiore a 3 mm;
- centralina portatile digitale, con apposito display per la lettura dei dati;
- aste di manovra della lunghezza di 2 m;
- cavo elettrico di collegamento tra la sonda e la centralina di misura, di lunghezza non inferiore a 50 m, con relativo rullo avvolgicavo;
- tubo di calibrazione della sonda in acciaio invar.

5.2.5.3 Collaudo della tubazione estensimetrica e lettura iniziale di riferimento

Il monitoraggio estensimetrico potrà eseguirsi non prima di 10 - 14 dall'installazione della tubazione, e dovrà comunque essere preceduto dalle operazioni di collaudo e misura iniziale di riferimento, secondo quanto descritto di seguito:

- a) Calibrazione iniziale della tubazione mediante sonda estensimetrica incrementale avente precisione non inferiore a 1 mm, registrando le differenze di lunghezza di tutti i tratti strumentati rispetto alla lunghezza di riferimento di un metro.
- b) Controllo ed eventuale regolazione del valore di lettura al display della centralina, da eseguirsi dopo aver introdotto la sonda estensimetrica incrementale in apposito tubo di calibrazione; la regolazione dovrà avvenire a stabilizzazione termica avvenuta, tenendo conto della dilatazione termica del tubo di calibrazione
- c) Determinazione dello zero di riferimento, che dovrà avvenire eseguendo almeno quattro letture sulla medesima tubazione con calcolo del valore medio. Le letture sulla tubazione estensimetrica dovranno essere eseguite partendo da fondo foro, a stabilizzazione termica avvenuta, con passo di 1 m. La tubazione estensimetrica verrà dichiarata idonea se tutte le distanze relative tra i riscontri di misura installati risulteranno comprese entro la tolleranza di ± 5.0 mm rispetto alla distanza nominale di 1 m.

5.2.5.4 Modalità esecutive

Prima di ogni serie di misure la sonda estensimetrica incrementale dovrà essere introdotta nel tubo

di calibrazione di acciaio invar e dovrà essere determinato lo scostamento dallo zero, a stabilizzazione termica avvenuta, tenendo conto della dilatazione termica del tubo di calibrazione.

La misura estensimetrica incrementale dovrà avvenire secondo le seguenti fasi:

- inserimento della sonda nel tubo guida in posizione di movimento e abbassamento della stessa fino a superare il primo riscontro di misura;
- rotazione della sonda di 45° e sollevamento della stessa fino ad avvenuto bloccaggio nel riscontro di misura;
- esecuzione della lettura;
- ripetizione della procedura sopra descritta sino a fondo foro;
- ripetizione delle misure anche in risalita per un controllo immediato della loro precisione.

5.2.5.5 Documentazione

La documentazione dovrà comprendere, per ogni misura:

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2.
- descrizione e caratteristiche del sistema di misura (sonda, centralina);
- risultati della lettura iniziale di riferimento.
- valore dello scostamento dallo zero;
- tabulato con le letture di campagna;
- tabulato con le letture corrette;
- grafico degli spostamenti differenziali in funzione della profondità.

5.2.6 MISURA ESTENSO-INCLINOMETRICA TIPO TRIVEC

5.2.6.1 Generalità

La misura estenso-inclinometrica viene effettuata introducendo in un tubo guida, installato in un foro di sondaggio verticale, una sonda a posizionamento meccanico che consente di misurare, attraverso misure ripetute nel tempo, le tre componenti di spostamento relativo tra riscontri di misura e posizionamento, installati a distanza di un metro l'uno dall'altro e resi solidali al terreno circostante a mezzo di cementazione.

5.2.6.2 Caratteristiche della strumentazione

La strumentazione di misura dovrà essere costituita da:

- sonda di misura removibile a posizionamento meccanico, con corpo in acciaio inox, al cui interno sono alloggiati un trasduttore lineare di spostamento tipo LVDT con risoluzione di 1 mm, e due sensori inclinometrici tra loro ortogonali con campo di misura pari a $\pm 14.5^\circ$ dalla verticale e sensibilità non inferiore a 1/20000 sen α (≈ 50 mm/m);
- centralina portatile digitale o computer portatile;
- passo di misura 1 m;
- aste di manovra della lunghezza di 1-2 m;
- cavo elettrico di collegamento tra la sonda e la centralina di misura, di lunghezza non inferiore a 50 m, con relativo rullo avvolgicavo;
- strumento di calibrazione della sonda in acciaio invar munito di due bolle e di registri per la regolazione fine della verticalità.

5.2.6.3 Collaudo della tubazione e lettura iniziale di riferimento

Il monitoraggio estenso-inclinometrico potrà eseguirsi non prima di 10 - 14 dall'installazione della tubazione, e dovrà comunque essere preceduto dalle operazioni di collaudo e misura iniziale di riferimento, secondo quanto descritto di seguito:

- a) Calibrazione iniziale della tubazione mediante sonda estensimetrica incrementale avente precisione non inferiore a 1 mm, registrando le differenze di lunghezza di tutti i tratti strumentati rispetto alla lunghezza di riferimento di un metro.
- b) Controllo ed eventuale regolazione del valore di lettura al display della centralina, da eseguirsi dopo aver introdotto la sonda estensimetrica incrementale in apposito tubo di calibrazione; la regolazione dovrà avvenire a stabilizzazione termica avvenuta, tenendo conto della dilatazione termica del tubo di calibrazione
- c) Determinazione dello zero di riferimento, che dovrà avvenire eseguendo almeno quattro letture sulla medesima tubazione con calcolo del valore medio. Le letture sulla tubazione estensimetrica dovranno essere eseguite partendo da fondo foro, a stabilizzazione termica avvenuta, con passo di 1 m. La tubazione estensimetrica verrà dichiarata idonea se tutte le distanze relative tra i riscontri di misura installati risulteranno comprese entro la tolleranza di ± 5.0 mm rispetto alla distanza nominale di 1 m.
- d) controllo della verticalità da realizzarsi con sonda inclinometrica: a seguito di tale verifica la

deviazione dalla verticale rilevata dovrà essere inferiore al 2%.

5.2.6.4 Modalità esecutive

Prima di ogni serie di misure la sonda estenso-inclinometrica dovrà essere introdotta in apposito tubo di calibrazione e dovrà essere determinato lo scostamento dallo zero delle tre componenti x, y e z, a stabilizzazione termica avvenuta, tenendo conto della dilatazione termica del tubo di calibrazione.

La misura estensimetrica incrementale dovrà avvenire secondo le seguenti fasi:

- inserimento della sonda nel tubo guida in posizione di movimento e abbassamento della stessa fino a superare il primo riscontro di misura;
- rotazione della sonda di 45° e sollevamento della stessa fino ad avvenuto bloccaggio nel riscontro di misura;
- esecuzione della lettura estensimetrica (componente di spostamento z) e della prima lettura inclinometrica (componenti x e y);
- ripetizione delle misure inclinometriche in corrispondenza dello stesso riscontro a 90°, 180° e 270° rispetto alla guida di riferimento iniziale e riposizionamento della sonda in corrispondenza della guida principale;
- abbassamento della sonda fino a superare il secondo riscontro di misura;
- ripetizione della procedura sopra descritta sino a fondo foro;
- ripetizione delle misure anche in risalita per un controllo immediato della loro precisione.

5.2.6.5 Documentazione

La documentazione dovrà comprendere, per ogni misura:

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2.
- descrizione e caratteristiche del sistema di misura (sonda, centralina);
- risultati della lettura iniziale di riferimento.
- valore dello scostamento dallo zero delle tre componenti x, y e z;
- tabulato con le letture di campagna;
- tabulato con le letture corrette;
- grafico degli spostamenti verticali differenziali (componente z) in funzione della profondità;
- grafico della risultante degli spostamenti orizzontali (componenti x e y) per punti in funzione della profondità;
- grafico della sommatoria della risultante degli spostamenti orizzontali in funzione della profondità;
- grafico dell'azimuth della risultante degli spostamenti orizzontali per punti in funzione della profondità;
- grafico dell'azimuth della risultante degli spostamenti orizzontali per integrazione in funzione della profondità.
- diagramma polare degli spostamenti nel piano orizzontale.

5.2.7 MISURA ESTENSIMETRICA (ESTENSIMETRO AD ASTE, A FILO E FESSURIMETRO)

5.2.7.1 Generalità

La misura estensimetrica consente la determinazione dello spostamento nel tempo tra due punti di misura, ben ancorati al terreno o alla roccia circostante.

5.2.7.2 Caratteristiche della strumentazione

La strumentazione di misura dovrà essere costituita da:

- comparatore centesimale, munito di bussola di taratura per la calibrazione dello stesso e di bussola di appoggio alla testa di lettura;

oppure da:

- centralina portatile digitale, con apposito display per la lettura dei dati (in caso di testa di lettura equipaggiata con trasduttore lineare di spostamento);

5.2.7.3 Modalità esecutive

L'esecuzione della lettura con comparatore centesimale dovrà avvenire mediante appoggio dell'apposita bussola alla testa di lettura.

L'esecuzione della lettura con la centralina portatile digitale dovrà avvenire ad avvenuta stabilizzazione del valore che appare sul display.

5.2.7.4 Documentazione

La documentazione dovrà comprendere, per ogni misura:

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2.
- descrizione e caratteristiche del sistema di misura (comparatore o centralina);
- tabulato con le letture di campagna;
- grafico dello spostamento nel tempo.

5.2.8 MISURA CLINOMETRICA DI SUPERFICIE

5.2.8.1 Generalità

La misura con clinometro di superficie consente, attraverso misure ripetute nel tempo, la determinazione della variazione di inclinazione di una parete rocciosa o di singoli blocchi rocciosi.

5.2.8.2 Caratteristiche della strumentazione

La strumentazione per le misure inclinometriche dovrà essere costituita da:

- centralina portatile digitale, con doppio display per la lettura dei dati relativi ai due sensori, oppure con un unico display e commutatore ;
- cavo elettrico di collegamento tra il pannello di misura e la centralina;

5.2.8.3 Modalità esecutive

L'esecuzione della lettura clinometrica di superficie dovrà avvenire utilizzando la centralina portatile digitale ad avvenuta stabilizzazione dei valori che appaiono sul display.

5.2.8.4 Documentazione

La documentazione dovrà comprendere, per ogni misura:

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2.
- descrizione e caratteristiche del sistema di misura (centralina);
- tabulato con le letture di campagna;
- grafico della risultante dello spostamento nel tempo.

5.2.9 MISURA CON CELLA DI PRESSIONE DA FORO

5.2.9.1 Generalità

La misura con cella di pressione da foro consente, attraverso misure ripetute nel tempo, la determinazione delle variazioni di tensione in un ammasso roccioso, indotte da una modifica delle condizioni di sollecitazione esterne .

5.2.9.2 Caratteristiche della strumentazione

La strumentazione di misura dovrà essere costituita da:

- comparatore centesimale, munito di bussola di taratura per la calibrazione dello stesso e di bussola di appoggio alla testa di lettura;

oppure da:

- centralina portatile digitale, con apposito display per la lettura dei dati (in caso di testa di lettura equipaggiata con trasduttore lineare di spostamento o trasduttore di pressione), munita di apposito cavo elettrico di collegamento con la testa di lettura.

5.2.9.3 Modalità esecutive

L'esecuzione della lettura con comparatore centesimale dovrà avvenire mediante appoggio dell'apposita bussola alla testa di lettura. La trasformazione del valore di spostamento nel valore di pressione dovrà avvenire dopo confronto con la curva di calibrazione propria di ogni cella.

L'esecuzione della lettura con la centralina portatile digitale dovrà avvenire ad avvenuta stabilizzazione del valore che appare sul display. Anche in questo caso la trasformazione del valore di spostamento nel valore di pressione dovrà avvenire dopo confronto con la curva di calibrazione propria di ogni cella.

5.2.9.4 Documentazione

La documentazione dovrà comprendere, per ogni misura:

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2.
- descrizione e caratteristiche del sistema di misura (compratore o centralina);
- tabulato con le letture di campagna per ogni cella di pressione;
- grafico della variazione della pressione nel tempo per ogni cella di pressione.

5.3 MISURE E CONTROLLI DI DIREZIONE IN FORO DI SONDAGGIO

5.3.1 MISURA DI INCLINAZIONE E ORIENTAZIONE IN FORO VERTICALE

5.3.1.1 Generalità

La prova consiste nella misura dell'inclinazione e della direzione del foro di sondaggio.

Le misure si eseguono tramite la sonda BDVS (o altro strumento aventi funzioni simili, indicato con altri acronimi, purchè approvato dalla Società), nelle due seguenti configurazioni:

- sonda BDVSM, dotata di un'unità magnetometrica e servoaccelerometrica: se utilizzata in un foro di sondaggio libero da rivestimenti metallici (foro non rivestito), fornisce un log comprendente l'orientamento del foro nelle tre dimensioni in funzione della profondità. Qualora il foro sia rivestito con rivestimenti metallici, la sonda potrà restituire il solo log di inclinazione, in quanto l'unità magnetometrica subisce il disturbo dalla massa metallica
- sonda BDVSG, dotata di un'unità giroscopica e servoaccelerometrica: può essere utilizzata in qualunque tipo di foro, rivestito o non rivestito, dato che il giroscopio non utilizza campi magnetici. Il log di output comprenderà l'orientamento del foro nelle tre dimensioni in funzione della profondità.

La Società concorderà preventivamente con il fornitore il tipo di strumentazione da adottare e le misure da effettuare nel foro oggetto di indagine.

5.3.1.2 Caratteristiche delle attrezzature

- Cavi di collegamento con unità avvolgicavo dotato di dispositivo per il controllo della profondità della sonda e di motore per il sollevamento della sonda a velocità costante;
- Sonda BDVS di diametro esterno ≤ 45 mm, resistente a pressioni variabili fino a 20 MPa, per la misura di:
 - inclinazioni sul piano verticale: da 0 a 180° (risoluzione +/- 0,25°),
 - azimuth sul piano orizzontale: da 0 a 360° (risoluzione +/- 2,5°);
- Centralizzatori amagnetici, adattabili a fori di diametro variabile da 90 a 260 mm;
- unità di controllo e registrazione digitale dei dati, dotata di monitor per la visione in tempo reale del corretto avanzamento del rilievo;
- software di elaborazione dei dati di inclinazione, orientazione e profondità.

I dati monitorati dai sensori sono elaborati attraverso un microprocessore, che restituisce in tempo reale l'inclinazione del foro di sondaggio ed il valore dell'azimuth.

5.3.1.3 Modalità esecutive

Il foro di sondaggio da monitorare dovrà avere un diametro compreso fra 57 mm e 200 mm, in qualsiasi configurazione.

Le modalità esecutive sono le seguenti:

- posizionamento della strumentazione sulla verticale di prova, e inserimento della sonda in foro fino alla base del foro di misura, per poter effettuare misure in risalita;
- risalita della strumentazione per tutto il tratto di misura, dopo aver impostato una velocità di risalita costante, compresa tra 2 mm/min e 5 m/min;
- acquisizione in automatico dei dati con log continuo di lettura;
- controllo della prova in tempo reale attraverso il monitor televisivo; eventuale variazione della velocità di risalita per tratti specifici.

5.3.1.4 Documentazione

La documentazione dovrà comprendere, per ogni monitoraggio::

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2;
- diametro nominale del foro;
- caratteristiche tecniche e costruttive della sonda utilizzata (lunghezza, diametro, ;
- diagrammi e tabulati (su supporto cartaceo e informatico) dei valori di orientazione e inclinazione rispetto alla profondità del tratto rilevato

5.3.2 MISURA DI GEOMETRIA IN FORO VERTICALE O INCLINATO

5.3.2.1 Generalità

La prova consiste nella valutazione della geometria del foro di sondaggio attraverso la misura delle deformazioni sul piano orizzontale, nonché dell'inclinazione e della direzione dello stesso foro in funzione della profondità.

Le misure si eseguono tramite sonda BGSS (o altro strumento aventi funzioni simili, indicato con altri acronimi, purché approvato dalla Società) costituita da due elementi principali:

- un'unità magneto-metrica e servoaccelerometrica, per la misura dell'inclinazione e l'orientamento del foro in funzione della profondità;
- quattro bracci metallici disposti a 90°, che possono aprirsi o chiudersi dalla superficie, per la misura del diametro del foro (in profondità) su due assi ortogonali.

Il log di output, relativo ad un intero sondaggio o parte di esso, fornisce quindi l'orientamento del foro nelle tre dimensioni, e la variazione della sezione secondo i due assi ortogonali. Conseguentemente si potrà calcolare il volume del foro e valutare la presenza di fratture e cavità nella roccia.

La sonda BGSS potrà utilizzarsi esclusivamente in foro di sondaggio non rivestito. Per fori rivestiti con tubazioni metalliche si potrà fare riferimento agli strumenti indicati nel capitolo successivo, che sfruttano anche la tecnologia giroscopica.

5.3.2.2 Caratteristiche delle attrezzature (sonda tipo BGSS)

- Cavi di collegamento con unità avvolgicavo dotato di dispositivo per il controllo della profondità della sonda e di motore per il sollevamento della sonda a velocità costante;
- Sonda BGSS di diametro esterno ≤ 60 mm, resistente a pressioni variabili fino a 20 MPa per la misura di:
 - inclinazioni sul piano verticale: da 0 a 180° ($\pm 0,25^\circ$),
 - azimuth sul piano orizzontale: da 0 a 360° ($\pm 2,5^\circ$);
 - Caliper a 4 braccia, estendibili tra 75 a <700 mm in orizzontale ($\pm 1\%$ della max. estensione);
- unità di controllo e registrazione digitale dei dati, dotata di monitor per la visione in tempo reale del corretto avanzamento del rilievo;
- software di elaborazione dei dati di inclinazione, orientazione, profondità e diametro.

I dati monitorati dai sensori sono elaborati attraverso un microprocessore, che restituisce in tempo reale l'inclinazione del foro di sondaggio ed il valore dell'azimuth.

5.3.2.3 Modalità esecutive

Il foro di sondaggio da monitorare, privo di rivestimento, dovrà avere diametro compreso fra i 75 e 700 mm.

Le modalità esecutive sono le seguenti:

- posizionamento della strumentazione sulla verticale di prova, e inserimento della sonda in foro fino alla base del foro di misura, per poter effettuare misure in risalita;
- risalita della strumentazione per tutto il tratto di misura, dopo aver impostato una velocità di risalita costante, compresa tra 2 mm/min e 5 m/min;
- acquisizione in automatico dei dati con log continuo di lettura;
- controllo della prova in tempo reale attraverso il monitor televisivo; eventuale variazione della velocità di risalita per tratti specifici.

5.3.2.4 Documentazione

La documentazione dovrà comprendere, per ogni monitoraggio::

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2;
- diametro nominale del foro;
- caratteristiche tecniche e costruttive della sonda utilizzata (lunghezza, diametro, ;
- diagrammi e tabulati (su supporto cartaceo e informatico) dei valori di orientazione e inclinazione rispetto alla profondità del tratto rilevato
- diagrammi e tabulati (su supporto cartaceo e informatico) del diametro del foro rispetto ai due assi ortogonali di riferimento del tratto rilevato

5.3.3 MISURA DI INCLINAZIONE IN FORO ORIZZONTALE

5.3.3.1 Generalità

Misure di inclinazione durante la perforazione possono rendersi necessarie in presenza di sondaggi orizzontali profondi, laddove l'eventuale inclinazione del foro rispetto all'orizzontale può assumere un valore non trascurabile.

I controlli descritti di seguito si effettuano preferibilmente attraverso misuratori direzionali da foro di ultima generazione (v. per es. i prodotti realizzati da Flexit, Imdex o Remflex Group), magnetometrici, servoaccelerometrici e giroscopici, derivati dall'ingegneria petrolifera.

Alternativamente possono effettuarsi misure di tipo indiretto, per esempio basate sulle condizioni di equilibrio idraulico presenti all'interno del foro di perforazione (preferibilmente in sistema idraulico chiuso).

L'impresa potrà proporre altre metodologie utili allo scopo, che dovranno comunque essere preventivamente testate, e subordinate ad approvazione da parte della Società.

Le misure di orizzontalità andranno eseguite nel corso della perforazione ogni qual volta sia richiesto dalla Società.

5.3.3.2 Caratteristiche delle attrezzature

Laddove si operi con misuratore direzionale da foro si farà riferimento alla seguente strumentazione:

- Misuratore direzionale da foro, in grado di misurare ed acquisire tutti i parametri direzionali necessari alla corretta orientazione tridimensionale del foro. Lo strumento sarà dotato di batteria interna, senza cavo di trasmissione, e potrà all'occorrenza essere supportato da tecnologia elettronica giroscopica, per operare all'interno di tubazioni in acciaio e in presenza di campi magnetici devianti; il sensore dovrà essere compatibile con i diametri di perforazione adottati, fino al minimo di 1,5 pollici di diametro
- batteria di tubi o aste per l'inserimento del sensore a fondo foro;
- adattatore per l'inserimento e fissaggio del sensore alla batteria a fondo foro;
- personal computer portatile provvisto di convertitore di interfaccia e programma di elaborazione dati fornito dalla casa produttrice.

Laddove si operi con strumentazione per la misura delle condizioni di equilibrio idraulico (in sistema idraulico chiuso), si adotterà invece:

- trasduttore di pressione da porre a fondo foro, di diametro non maggiore di 38 mm,
- collegamento elettrico-idraulico tra il trasduttore e la superficie, costituito da cavo elettrico schermato twistato per la trasmissione del segnale di misura; il cavo è segnato con riferimenti colorati a distanze stabilite per poter misurare l'inserimento della sonda nel foro. Accompagnano il cavo due tubi in Rilsan completi di raccorderia per il collegamento idraulico tra sonda e vaso esterno;

- un vaso di espansione con funzione di riferimento quota da porre in superficie, completo di raccorderia. Va fissato in prossimità del foro, in posizione un po' più elevata (normalmente 50-100 cm);
- apparecchiatura di alimentazione in testa, contenente le batterie, il display e l'elettronica di servizio;
- batteria di tubi o aste per l'inserimento del sensore a fondo foro.

Una variante semplificata delle misurazioni basate sulle condizioni di equilibrio idraulico, prevede di utilizzare un semplice trasduttore cilindrico, dotato di batteria interna, da porre a fondo foro tramite le aste di perforazione (o aste dedicate), senza circuitazione di tenuta idraulica e senza vaso di espansione esterna. Tale procedura presenta comunque incertezze legate alle possibili variazioni di pressione idraulica all'interno del foro, e dovrà essere preventivamente autorizzata dalla società.

In tal caso si utilizzerà la seguente strumentazione:

- Sensore cilindrico di pressione assoluta dotato di batteria interna, con range di pressione variabile tra 0.1 - 10 bar, risoluzione pari a 0.0025% F.S., frequenza di acquisizione modulabile, con un minimo di 1 dato/secondo; il sensore dovrà essere compatibile con i diametri di perforazione adottati, fino al minimo di 1 pollice di diametro;
- batteria di tubi o aste per l'inserimento del sensore a fondo foro.

5.3.3.3 Modalità esecutive

In tutti i casi le differenti attrezzature dovranno potersi utilizzare sia in perforazione a carotaggio o a distruzione, sia con tecnologia wire line, sia con metodologia tradizionale ad aste e carotieri.

I metodi esecutivi variano in relazione al tipo di strumentazione utilizzata, avendo presente che, laddove si operi con strumentazione dedicata per la misura delle pressioni neutre è fortemente raccomandato operare con sistema chiuso: il trasduttore di pressione inserito nella sonda "sente" la pressione geodetica $P=gH$ corrispondente al dislivello tra la quota del vaso esterno di riferimento ed il sensore, collegati tra loro tramite la tubazione idraulica satura di liquido; il cavo elettrico trasporta tale segnale al display esterna per la lettura.

Se il sistema non è isolato idraulicamente, la prova dovrà avvenire garantendo la tenuta idraulica dell'intero sistema foro+aste+strumentazione verso l'esterno: prima di ogni misura si saturerà il sistema fino a boccaforo, attendendo il tempo necessario alla stabilizzazione idraulica. La differenza di pressione esistente tra la pressione iniziale (a boccaforo) e la pressione alla i-esima profondità di misura corrisponde all'altezza d'acqua (in m) presente nel foro, e si traduce in m di soggiacenza del foro rispetto alla quota di boccaforo. Tale metodica semplificata presenta comunque incertezze dovute all'eventuale presenza di falde più o meno in pressione all'interno del foro di prova, oppure di zone fratturate con conseguente tendenza allo svuotamento idraulico del condotto.

- Ad inizio prova il sensore viene attivato; qualora si tratti di sensore dotato di batteria interna (senza collegamento elettrico con la superficie) si imposterà l'opportuna frequenza di memorizzazione dell'unità interna (di norma 1 ogni minuto), registrando i parametri iniziali e l'ora di avvio, corrispondente al tempo zero di inizio prova. Qualora si adotti invece strumentazione con unità di controllo esterno, si adotterà una frequenza di misura in continuo o a intervalli di distanza regolari di 3 - 6 m di penetrazioni delle aste nel foro;

- il sensore viene vincolato, attraverso l'adattatore, alla strumentazione con la quale verrà inserito nel foro (aste di perforazione, tubi di raccordo rigidi da acqua, o sua tubazione dedicata, ecc.);
- la tubazione contenente il sensore viene inserita nel foro e fatto avanzare progressivamente, applicando le prolunghe di lunghezza nota; ed eseguendo le letture previste secondo l'opportuno schema di lavoro. in ogni caso, ad intervalli regolari di profondità relativa dalla superficie (es. 6 m) si ferma l'avanzamento del trasduttore per almeno 1 o 2 minuti per permettere le opportune stabilizzazioni e riequilibri elettrici/idraulici (anche in relazione alle variazioni di temperatura). Per sensori dotati di batteria interna si annoteranno regolarmente l'ora corrispondente e il tempo trascorso da inizio prova;
- una volta raggiunta la profondità finale del foro ed eseguita la misura corrispondente, si estrae la batteria di aste e si estrae il sensore. Se il sensore è dotato di batteria interna lo si collega al programma di elaborazione, scaricando tutti i dati registrati precedentemente;
- i valori di pressione memorizzati si incolonnano e si trasferiscono su foglio di lavoro, associando le letture di pressione alle profondità di misura, ed eventualmente ai tempi di riferimento registrati.

5.3.3.4 Documentazione

La documentazione di prova dovrà contenere i seguenti dati:

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2;
- caratteristiche della strumentazione utilizzata (compresi marca, modello, sensibilità, e dimensioni del sensore di misura);
- tabulato contenente tutti i set di misurazioni effettuate (dalla superficie o per il tratto di profondità in esame): profondità di misura, inclinazione, azimuth, Est, Nord, (per le misure elettroniche magnetometriche); profondità di misura, valore di pressione assoluta (in kPa), abbassamento corrispondente in m (per le misure di tipo idraulico),
- grafico riportante il profilo di orizzontalità del foro rispetto alla profondità, deducibile dalle misurazioni effettuate,

5.4 ARCHIVIAZIONE DATI SU SUPPORTO INFORMATICO

5.4.1 GENERALITÀ

Qualora richiesto dalla Società il fornitore provvederà a strutturare i dati di monitoraggio compatibilmente con l'utilizzo del programma ANIDRO, banca dati geologici e geotecnici di Autostrade per l'Italia SpA.

5.4.2 STRUTTURA GENERALE DEI DATI

Il programma ANIDRO funzionerà solo se i dati, inviati dai fornitori, seguiranno le specifiche qui illustrate.

Questo foglio andrà sempre accompagnato alla "Struttura dei dati" specifici, relativi alle seguenti schede:

- I letture inclinometriche
- P letture piezometriche

5.4.2.1 Nomenclatura dei file

Il nome del file, in accordo con le convenzioni del sistema operativo MS-DOS, sarà costituito da un NOME di 8 caratteri, separato, tramite un punto, dalla ESTENSIONE di 3 caratteri, come di seguito specificato:

NOME:

- carattere 1: identificatore del tipo di dati contenuto nel file;
- caratteri 2-3: identificativo univoco del fornitore, attribuito dal committente;
- caratteri 4-7: sigla identificativa del file di dati, univoca tra tutte quelle fornite da quel fornitore, (per qualunque autostrada e progressiva). La sigla, formata da 4 caratteri maiuscoli e/o cifre, va attribuita dal fornitore e va ripetuta per tutti i file relativi ad una determinata scheda.
- carattere 8: riservato, da non utilizzare.

ETENSIONE:

- n. progressivo del file dati, coincidente con il n. progressivo di aggiornamento. Va indicato sempre con 3 cifre, eventualmente premettendo degli zeri (es.: 004). Nel caso in cui non è contemplato l'aggiornamento dei files (ad es. per le stratigrafie), usare l'estensione 000.

5.4.2.2 Struttura del file

Il file da fornire è un file di testo, in caratteri ASCII. Potrà quindi essere scritto mediante un text editor o apposito software applicativo. Potrà anche essere scritto mediante un word processor, purché funzionante in modalità text editor, oppure tramite l'impiego di funzioni di esportazione in ASCII, normalmente previste.

Il file si compone di sezioni delimitate da parole-chiave. La prima sezione è sempre costituita da dati generali (fornitore, data, ..., ecc.). Seguono una o, eventualmente, più sezioni, ciascuna relativa a dati specifici.

Non è consentito scrivere alcun tipo di testo al di fuori delle sezioni.

Le sezioni possono essere separate fra loro da nessuna, una o più righe bianche.

5.4.2.2.1 Sezione Dati Generali

E' la prima del file ed è compresa tra le 2 parole-chiave di definizione di sezione:

[DG_INIZIO]

...
(dati)

...
[DG_FINE]

Le parole-chiave devono essere scritte esattamente come indicato, all'inizio della riga o precedute da spazi bianchi (non ammessi altri caratteri), comprese le parentesi quadre.

All'interno della sezione vanno scritti i dati generali, ciascuno preceduto, sulla stessa riga, dalla relativa parola-chiave di identificazione dato, secondo le seguenti regole:

- la parola-chiave deve essere scritta all'inizio riga oppure può essere preceduta da spazi bianchi (nessun altro carattere ammesso).
- la parola chiave deve essere seguita dai due punti (:).
- tra la parola chiave ed il dato a cui si riferisce, da scrivere interamente sulla stessa riga, possono essere inseriti spazi bianchi (nessun altro carattere ammesso).
- tra due parole chiave può essere interposta una o più righe bianche.
- alcuni dati sono opzionali; per questi, ove il dato non sia disponibile, non deve essere scritta neanche la relativa parola-chiave.

I dati obbligatori comuni a tutti i file saranno:

- ID_FORNITORE: identificativo fornitore (2 caratteri). Compone il nome del file.
- FORNITORE: ragione sociale del fornitore e il recapito telefonico (max 60 caratteri)
- ID_FILE: identificativo della scheda (4 caratteri). Compone il nome del file. Deve essere unico tra tutte le schede compilate dal fornitore.
- DATA: data di compilazione della scheda (gg/mm/aaaa).
- AUTOSTRADA: sigla dell'autostrada interessata (2 o 3 caratteri)
- PROGRESSIVA: progressiva di riferimento (km+mmm)

Alcune regole comuni per i dati associati alle parole chiave sono di seguito specificate:

- più dati corrispondenti ad una parola chiave vanno scritti sulla stessa riga, separati da spazi bianchi;
- le date andranno sempre scritte nel formato gg/mm/aaaa (10 caratteri), usando come separatore solamente il carattere "/" e non altri, ne spazi bianchi;
- le sigle autostradali saranno composte dalla lettera A maiuscola seguita senza spazi dal numero (2 o 3 caratteri) : es : A4 (e non A 4). Alcune eccezioni sono l'autostrada Roma-

Civitavecchia (indicata con B12 per non confonderla con la A12 Genova-Sestri), e i rami di svincolo e diramazione (es. A1N indica ramo di svincolo Roma Nord).

- le progressive saranno scritte nel formato km+mmm, senza spazi bianchi tra il "+" e le cifre. Mentre le cifre relative ai km saranno quelle effettivamente necessarie, i metri saranno sempre scritti con tre cifre, eventualmente premettendo degli zeri (es. : 22+087).
- le coordinate cartografiche saranno, nell'ordine, EST e NORD nel reticolo nazionale Gauss-Boaga (in metri), separate da spazi bianchi.

5.4.2.2.2 Sezioni contenenti dati specifici.

Dopo la sezione dati generali, seguono una o più sezioni, contenenti ciascuna un set omogeneo di dati.

Ogni sezione di questo tipo è delimitata da due parole chiave, ad es. :

[SET_INIZIO]

...
(dati)

...
[SET_FINE]

Le parole-chiave devono essere scritte all'inizio della riga, esattamente come indicato. All'interno delle due parole chiave vanno inseriti i dati con le stesse regole indicate al paragrafo 5.4.2.2.1).

5.4.2.2.3 Note

In casi particolari è possibile inserire anche delle note che potranno essere scritte in una apposita sezione delimitata dalle parole chiave:

[NOTA_INIZIO]

...
(note)

...
[NOTA_FINE]

Va comunque tenuto presente che per le note non è previsto uno specifico trattamento informatico. Inoltre nel testo della nota andrà obbligatoriamente inserita la data relativa. Note con date diverse dovranno essere contenute in sezioni diverse.

5.4.2.3 Esempio:

(nome file: IPSAF12.001)

[DG_INIZIO]

ID_FORNITORE: PS
FORNITORE: ragione sociale, n. tel.
ID_FILE: AF12
DATA: 02/08/1990
AUTOSTRADA: A1
PROGRESSIVA: 234+025

....
[DG_FINE]

[SET_INIZIO]

...

[SET_FINE]

[NOTA_INIZIO]

...

[NOTA_FINE]

5.4.3 PIEZOMETRI

Si precisa che per quanto non specificato di seguito si dovrà fare riferimento a quanto indicato al punto 4.3.1..

5.4.3.1 Nomenclatura dei file.

Il file è identificato da un nome e da un' estensione.

NOME:

- carattere 1:(fisso = "P"); identificatore di piezometro
- caratteri 2-3: identificativo univoco del fornitore, attribuito dal committente.
- caratteri 4-7: sigla identificativa del file di dati, univoca tra tutte quelle fornite da quel fornitore, (per qualunque autostrada e progressiva). La sigla, formata da 4 caratteri maiuscoli e/o cifre, va attribuita dal fornitore e va ripetuta per tutti i files relativi ad un determinato sito.
- carattere 8:generalmente e' assente o può assumere il valore 0. Solo nel caso in cui esistono piezometri multipli nello stesso sito, ma rappresentati con file differenti, si possono usare altri caratteri.

ESTENSIONE:

- n. progressivo del file dati, coincidente con il n. progressivo di aggiornamento. Va indicato sempre con 3 cifre, eventualmente premettendo degli zeri (es.: 004).

5.4.3.2 Struttura del file

Il file si compone di sezioni delimitate da parole-chiave. La prima sezione è sempre costituita dai dati generali del fornitore e del piezometro esaminato. Seguono una o eventualmente più sezioni ciascuna relativa alle misure di una cella piezometrica.

5.4.3.2.1 *Sezione Dati Generali*

E' la prima del file ed è compresa tra le 2 parole-chiave di definizione di sezione:

[DG_INIZIO]

...
(dati)

...
[DG_FINE]

All'interno della sezione, vanno scritti i dati generali, ciascuno preceduto, sulla stessa riga, dalla relativa parola-chiave di identificazione, come di seguito specificato.

ID_FORNITORE:identificativo fornitore (2 caratteri). Compone il nome del file.

FORNITORE: ragione sociale del fornitore e il recapito telefonico (max 60 caratteri)

ID_FILE: identificativo del campione (4 caratteri). Compone il nome del file. Deve essere unico tra tutte le schede compilate dal fornitore

DATA: data di compilazione della scheda (gg/mm/aaaa).

AUTOSTRADA: sigla dell'autostrada interessata (2 o 3 caratteri)

MSQX-MSD-Rev0

PROGRESSIVA: va indicata la progressiva di riferimento del sondaggio (formato km+mmm)

CARREGGIATA: può assumere uno tra i 4 valori seguenti: N (nord), S (sud), E (est), O (ovest).

COORDINATE: coordinate cartografiche EST, NORD nel reticolo nazionale Gauss-Boaga (in m)

DISTANZA: distanza dall'asse autostradale in metri. Questo dato può essere utilizzato in alternativa al dato COORDINATE per ubicare il sondaggio, ove sia impossibile la determinazione delle coordinate cartografiche, comunque da preferire. Se si usa questo dato, è tassativa l'indicazione della carreggiata. Se sono specificate anche le coordinate, quest'ultime sono prevalenti per l'ubicazione.

QUOTA_PC: quota s.l.m. del piano di campagna (in metri, con precisione al cm.)

ARCHIVIO: riferimento archivio cartaceo (max 10 caratteri).

NF_SONDAGGIO: nome del file di sondaggio (7 caratteri) collegato al piezometro

DATA_INIZIALE: data della 1^a lettura (formato "gg/mm/aaaa").

LUNGHEZZA_TUBO: solo per microfessurati (in m).

5.4.3.2.2 Sezioni contenenti dati specifici.

Dopo la sezione dati generali, seguono una o più sezioni contenenti ciascuna l'intera serie storica delle letture relative, o ad una stessa cella ad una determinata profondità, o al tubo microfessurato.

Ogni sezione di questo tipo è delimitata dalle due parole chiave:

[SET_INIZIO] profondità id_piezometro

.....
(dati...)

.....
[SET_FINE]

La profondità della cella, da porre uguale a 0 se tubo microfessurato, (in m. dal piano di campagna, con precisione al cm), va indicata sulla stessa riga della parola chiave di inizio, da essa separata da uno o più spazi bianchi. La profondità va scritta senza segno -.

id_piezometro rappresenta l'identificativo del piezometro (max. 5 car.) nell'ambito dei piezometri relativi alla stessa progressiva di riferimento.

All'interno delle due parole chiave vanno inseriti i dati relativi alla cella, scrivendo su ciascuna riga la data della lettura, (nel formato gg/mm/aaaa) ed il livello piezometrico (in metri), espresso come differenza, con segno (negativo al di sotto), dal piano di campagna.

Il livello piezometrico può assumere uno dei seguenti valori:

0.00	se il livello dell'acqua ha raggiunto la testa foro (falda in pressione)
lung. tubo o prof. cella	se non viene rilevata acqua in fondo al foro
NN	se il piezometro e' dismesso
NR	se non e' stato possibile eseguire misure in quella data.

5.4.3.2.3 Note

Deve contenere obbligatoriamente, oltre alla data, anche l'identificativo del piezometro. Fare

MSQX-MSD-Rev0

La sola edizione controllata del documento è quella diffusa attraverso la rete informatica.

Tutte le copie disponibili su carta o su qualsiasi altro supporto, escluso l'originale, non sono soggette a controllo e il loro stato di aggiornamento deve essere verificato prima dell'uso.

riferimento a "struttura generale dei dati".

5.4.3.3 Esempio:

(nome file: PPSAP12.005)

[DG_INIZIO]

ID_FORNITORE: PS
FORNITORE: ragione sociale, n. tel.
ID_FILE: AP12
DATA: 02/08/1990
AUTOSTRADA: A1
PROGRESSIVA: 234+025
COORDINATE: 1642577.23 4785414.51
QUOTA_PC: 120.33
NF_SONDAGGIO: GGTBU76
DATA_INIZIALE: 02/08/1990
LUNGHEZZA_TUBO: 50.00

[DG_FINE]

[SET_INIZIO] 10.55 P1A
12/03/1985 -7.51
16/05/1985 -6.98

.....
.....

[SET_FINE]

[SET_INIZIO] 48.25 P1B
12/03/1985 -37.31
16/05/1985 -35.87

.....
.....

[SET_FINE]

5.4.4 TUBI INCLINOMETRICI

Si precisa che per quanto non specificato di seguito si dovrà fare riferimento a quanto indicato al capitolo 5.4.1.

5.4.4.1 Nomenclatura dei file.

Il file è identificato da un nome e da un' estensione.

NOME:

- carattere 1:(fisso = "I"); identificatore di tubi inclinometrici
- caratteri 2-3: identificativo univoco del fornitore, attribuito dal committente.
- caratteri 4-7: sigla identificativa del file di dati, univoca tra tutte quelle fornite da quel fornitore, (per qualunque autostrada e progressiva). La sigla, formata da 4 caratteri maiuscoli e/o cifre, va attribuita dal fornitore e va ripetuta per tutti i file relativi ad un determinato tubo inclinometrico.
- carattere 8:riservato, da non utilizzare

ESTENSIONE:

- n. progressivo del file dati, coincidente con il n. progressivo di aggiornamento. Va indicato sempre con 3 cifre, eventualmente premettendo degli zeri (es.: 004).

5.4.4.2 Struttura del file

Il file si compone di sezioni delimitate da parole-chiave. La prima sezione è sempre costituita dai dati generali del fornitore e del tubo esaminato. Seguono una, o eventualmente, più sezioni, ciascuna relativa ad un set di elaborazioni.

5.4.4.2.1 *Sezione Dati Generali*

E' la prima del file ed è compresa tra le 2 parole-chiave di definizione di sezione:

[DG_INIZIO]

...
(dati)

...
[DG_FINE]

All'interno della sezione, vanno scritti i dati generali, ciascuno preceduto, sulla stessa riga, dalla relativa parola-chiave di identificazione, come di seguito indicato.

ID_FORNITORE: identificativo fornitore (2 caratteri). Compone il nome del file.

FORNITORE: ragione sociale del fornitore e il recapito telefonico (max 60 caratteri)

ID_FILE: identificativo del tubo (4 caratteri). Compone il nome del file. Deve essere unico tra tutte le schede compilate dal fornitore.

DATA: data di compilazione del file (gg/mm/aaaa).

AUTOSTRADA: sigla dell'autostrada interessata (2 o 3 caratteri)
PROGRESSIVA: progressiva di riferimento del sondaggio (formato km+mmm)
CARREGGIATA: può assumere uno tra i 4 valori seguenti: N (nord), S (sud), E (est), O (ovest).
COORDINATE: coordinate cartografiche EST, NORD nel reticolo nazionale Gauss-Boaga (in m). Devono essere scritte sulla stessa riga, in formato libero, separate da spazi bianchi, nell'ordine: Est, Nord.
QUOTA_PC: quota s.l.m. del piano di campagna (in metri, con precisione al cm).

NF_SONDAGGIO: nome del file di sondaggio (7 caratteri) collegato al tubo
ID_TUBO: identificativo del tubo (max 5 caratteri) nell'ambito dei tubi relativi alla stessa progressiva di riferimento.
PASSO_SONDA: lunghezza del passo sonda (in metri, con precisione al cm).
N_PASSI_SONDA: numero di passi sonda.
DATA_ORIGINE: data della lettura di zero (formato "gg/mm/aaaa").
LUNGHEZZA_TUBO:(in metri).
NF_PIEZOMETRO: (se esistente) indica il nome del file piezometro (7 caratteri) collegato al tubo

5.4.4.2.2 Sezioni contenenti dati specifici.

Dopo la sezione dati generali, seguono una o più sezioni, contenenti ciascuna un set omogeneo di elaborazioni delle misure strumentali alle diverse profondità.

Ogni sezione di questo tipo è delimitata dalle due parole chiave:

[SET_INIZIO]

...
(dati)

...
[SET_FINE]

All'interno delle due parole chiave vanno inseriti, divisi per righe, i dati come di seguito descritto:

DATA: data di lettura delle misure (formato gg/mm/aaaa).
PROF_ACQUA: profondità (in metri) della superficie piezometrica eventualmente rilevata nel tubo. Il dato è opzionale: se manca va omessa l'intera riga.
TIPO_ELAB: può assumere i seguenti valori:
"AP" indicano elaborazione in assoluto per punti (da impiegare solo per la lettura di zero)
"DP" indicano elaborazione differenziale per punti. (da impiegare per tutte le letture successive alla lettura di zero)
"NN" indicano la non prosecuzione dei rilevamenti per quel tubo, per impossibilità o abbandono. Ovviamente, la parola chiave successiva (ELABORAZIONI:) con i dati ad essa relativi, non dovrà essere inserita.

ELABORAZIONI: seguita, sulla stessa riga, dal numero di righe, immediatamente successive, contenenti le terne di dati (profondità, risultante e azimuth) elaborati in differenziale per punti (o in assoluto per punti se si tratta della lettura di zero). Questo numero sarà, di norma, uguale al n. di passi sonda dichiarato nella sezione Dati Generali (parola-chiave N_PASSI_SONDA:); nei casi in cui non sia stato possibile eseguire alcune delle letture più profonde, tale numero sarà invece inferiore e corrispondente al numero effettivo delle letture effettuate.

Seguono tante righe dei dati quante sopra dichiarate. Ciascuna riga contiene i seguenti tre dati, incolonnati, separati da uno o più spazi bianchi (ammessi spazi bianchi precedenti il primo dato):

- profondità (in metri). Va indicata la profondità dell'estremo superiore della sonda.
- risultante (in millimetri).
- direzione in gradi sessadecimali (frazioni di grado in notazione decimale, non in primi e secondi), dall'asse Est (x) in verso antiorario.

Nell'invio degli aggiornamenti sono possibili due alternative:

- invio dei soli dati di aggiornamento, relativi all'ultimo o agli ultimi interventi. In questo caso il file conterrà una o più sezioni SET_INIZIO / SET_FINE recanti i dati delle ultime elaborazione in differenziale per punti.
- invio, ogni volta, della intera serie storica delle misure. In tal caso, il file conterrà tante sezioni SET_INIZIO / SET_FINE pari al numero di interventi. L'ordine di scrittura seguirà, naturalmente, la cronologia degli interventi. In pratica ogni file sarà uguale al precedente con l'aggiunta, in fondo, della sezione SET_INIZIO / SET_FINE relativa all'ultimo intervento.

5.4.4.2.3 Note

Fare riferimento a "struttura generale dei dati".

5.4.4.3 Esempio:

(nome file: IPSAF12.002)

[DG_INIZIO]
ID_FORNITORE: PS
FORNITORE: ragione sociale, n. tel.
ID_FILE: AF12
DATA: 13/05/1991

AUTOSTRADA: A1
PROGRESSIVA: 234+025
COORDINATE: 1642567.23 4785424.51
QUOTA_PC: 123.45

NF_SONDAGGIO: GGTAJ37
ID_TUBO: S2
PASSO_SONDA: 0.61
N_PASSI_SONDA: 39
DATA_ORIGINE: 02/08/1990

LUNGHEZZA_TUBO:20.00
 [DG_FINE]

[SET_INIZIO]

DATA: 10/03/1991
 PROF_PIEZO: 10.60
 TIPO_ELAB: DP
 ELABORAZIONI: 39
 0.00 0.4 220.4
 0.61 0.5 210.2
 1.22 0.4 250.3

.....

 ...(39 righe in totale)..

.....
 21.95 0.1 300.9
 22.55 0.1 320.3
 23.16 0.2 350.1

[SET_FINE]

[SET_INIZIO]

DATA: 13/05/1991
 PROF_PIEZO: 9.80
 TIPO_ELAB: DP
 ELABORAZIONI: 39
 0.00 0.3 230.1
 0.61 0.6 207.1
 1.22 0.1 246.0
 1.83 0.3 331.6
 2.44 0.2 264.3
 3.05 0.1 50.7

.....

 ...(39 righe in totale)..

.....
 21.95 0.1 299.2
 22.55 0.2 318.3
 23.16 0.6 351.2

[SET_FINE]

6 INDAGINI GEOFISICHE

6.1 PROSPEZIONI SISMICHE

6.1.1 INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE AD ONDE DI COMPRESSIONE (ONDE P)

6.1.1.1 Generalità

L'indagine sismica a rifrazione ad onde di compressione consiste nella energizzazione del sottosuolo e nella registrazione degli arrivi delle onde P rifratte in corrispondenza di geofoni verticali disposti secondo un allineamento con interassi tra i geofoni e lunghezza totale dello stendimento tali da permettere una adeguata profondità di indagine.

La misura dei tempi di arrivo delle onde P ai diversi geofoni permette di ricostruire l'andamento e la profondità del rifrattore e permette anche di calcolare le caratteristiche elastiche dinamiche dei terreni e degli ammassi rocciosi investigati.

6.1.1.2 Normative e specifiche di riferimento

- ASTM D 5777 - Standard Guide for Using the Seismic Refraction Method for Subsurface Investigation

L'Impresa dovrà in ogni caso attenersi a quanto di seguito specificato.

6.1.1.3 Caratteristiche delle attrezzature

L'attrezzatura minima di prova dovrà essere costituita dai seguenti componenti:

- sismografo a 24 canali, con possibilità di stack degli impulsi sismici, filtri analogici e digitali programmabili (filtri attivi tipo high pass, band pass e band reject), guadagno verticale del segnale (in ampiezza) e sensibilità tra 6 e 92 decibel, registrazione dei dati in digitale per elaborazioni successive con formato in uscita minimo a 16 bit; in funzione dell'obiettivo dell'indagine potranno essere utilizzati più moduli sismografici in serie;
- 24 geofoni verticali a frequenza propria variabile tra 8 e 14 Hz; in funzione del numero di canali utilizzati dovrà essere utilizzato un numero congruo di geofoni;
- sistema di energizzazione adeguato alla profondità di indagine; potrà essere costituito da cannoncino sismico calibro 8 (equipaggiato ad es. con cartucce industriali a pallettoni di Pb ed in grado di fornire una velocità alla bocca di 400 ÷ 600 m/s) oppure da massa battente o cariche di esplosivo.

6.1.1.4 Modalità esecutive

La "copertura" dei tiri sulle basi sismiche dovrà essere tale da consentire una corretta e dettagliata ricostruzione del campo di velocità locale fino alle profondità stabilite dal progetto delle indagini o dalla Società; per una base minima a 24 canali i tiri non dovranno essere in numero inferiore a 5 dei quali 3 interni alla base e 2 esterni.

Nel caso in cui sia prevista una elaborazione tomografica le spaziature geofoniche dovrebbero essere comprese tra 1/10 e 1/20 del target di profondità dell'indagine, mentre gli shot dovranno essere effettuati ogni 4-5 stazioni geofoniche e registrati per una lunghezza di "base" almeno 5

volte la profondità del target stesso.

L'elaborazione dei dati dovrà essere realizzata mediante software in grado di fornire i valori dei parametri di velocità, relativi ai rifrattori individuati, per ogni stazione geofonica (ad esempio software che utilizzi il metodo "GRM" - Generalized Reciprocal Method, Palmer '80).

6.1.1.5 Elaborazione tomografica dei dati

Se richiesto dal progetto delle indagini, l'elaborazione dovrà essere sviluppata tramite un'analisi con modellazione del sottosuolo su base anisotropica, la quale dovrà fornire, previa elaborazione con metodologie iterative R.T.C. (Ray Tracing Curvilineo) e algoritmi di ricostruzione tomografica (ad esempio con l'impiego di algoritmi ART - Algebraic Reconstruction Technique, SIRT - Simultaneous Iterative Reconstruction Technique o ILST - Iterative Least Square Technique), il campo delle velocità del sottosuolo ad elevata densità di informazioni: le celle unitarie, di forma rettangolare o quadrata, potranno avere dimensioni orizzontali (asse x) e verticali (asse z) pari a, rispettivamente, $1/3 \div 1/5$ e $1/5 \div 1/10$ della spaziatura tra i geofoni.

6.1.1.6 Rilievo topografico del piano completo di prospezione sismica

Ad integrazione dell'indagine sismica dovrà essere eseguito un rilievo topografico comprendente la determinazione planoaltimetrica delle ubicazioni dei geofoni delle basi sismiche a rifrazione, riferita a punti notevoli o ad elementi cartografici noti dell'area interessata. Le coordinate del rilievo topografico, dovranno essere inquadrare in un sistema di coordinate generale di progetto fornito dalla Società.

In particolare, per ogni stesa rettilinea saranno determinati le coordinate planoaltimetriche assolute del primo (e eventualmente anche ultimo) geofono. Nel caso di più stese affiancate e contigue si prenderanno a riferimento il primo (e ultimo) punto dell'intero allineamento. Per ognuno di tali punti terminali verrà restituita una monografia compilata in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.5.

L'ubicazione dei geofoni intermedi potrà essere eseguita con attrezzatura celerimetrica (teodolite) o mediante cordella metrica, livello e stadia. Le distanze e le quote relative dei geofoni intermedi saranno riportate su apposito tabulato.

6.1.1.7 Documentazione

La documentazione di ciascuna indagine dovrà comprendere:

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2.
- sismogrammi originali su supporto digitale (e cartaceo, qualora richiesto);
- profili sismostratigrafici in scala adeguata con indicati i valori delle velocità delle onde di compressione (V_P) calcolati per intervalli omogenei, con indicata la posizione dei singoli geofoni e dei punti di scoppio (compresi quelli più esterni), di eventuali sondaggi geognostici che risultino proiettabili sul profilo stesso e delle intersezioni eventuali con altre stese eseguite;
- confronto tra le dromocrone sperimentali e quelle teoriche;
- elaborazione a isolinee o a campiture di colore delle velocità delle onde di compressione (V_P) in caso di elaborazione tomografica;
- relazione conclusiva, elaborata in base ai risultati delle indagini svolte in cui saranno indicate le strumentazioni utilizzate, le metodologie operative, gli algoritmi di calcolo impiegati, tabelle e tavole ad integrazione e chiarimento delle analisi, procedure applicate, le risultanze finali ed interpretative;
- documentazione fotografica.

- monografia dei vertici di inizio-fine stesa sismica, per ogni stesa rettilinea;
- tabulato con il rilievo di tutti i geofoni intermedi appartenenti ad ogni stesa rettilinea, in termini di distanza reciproca e dislivello.

6.1.2 INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE AD ONDE DI TAGLIO (ONDE S)

6.1.2.1 Generalità

Consiste nella energizzazione del sottosuolo e nella registrazione degli arrivi delle onde di taglio (onde S) in corrispondenza di geofoni orizzontali, disposti secondo un allineamento con interassi tra i geofoni e lunghezza totale dello stendimento tali da permettere una adeguata profondità di indagine.

6.1.2.2 Caratteristiche delle attrezzature

L'attrezzatura di prova dovrà essere costituita dai seguenti componenti:

- sismografo a 24 canali, con possibilità di stack degli impulsi sismici, filtri analogici e digitali programmabili (filtri attivi tipo high pass, band pass e band reject), guadagno verticale del segnale (in ampiezza) e sensibilità tra 6 e 92 decibel, registrazione dei dati in digitale per elaborazioni successive con formato in uscita minimo a 16 bit; in funzione dell'obiettivo dell'indagine potranno essere utilizzati più moduli sismografici in serie
- 24 geofoni orizzontali a frequenza propria variabile tra 8 e 14 Hz; in funzione del numero di canali utilizzati dovrà essere utilizzato un numero congruo di geofoni;
- sistema di energizzazione adeguato alla profondità e alla natura dell'indagine; potrà essere costituito da massa battente (mazza da 10 kg) agente lateralmente su un blocco ancorato al terreno, da cannoncino sismico calibro 8 (equipaggiato ad es. con cartucce industriali a pallettoni di Pb ed in grado di fornire una velocità alla bocca di $400 \div 600$ m/s) oppure da cariche di esplosivo.

6.1.2.3 Modalità esecutive

La "copertura" dei tiri sulle basi sismiche dovrà essere tale da consentire una corretta e dettagliata ricostruzione del campo di velocità locale fino alle profondità stabilite dalla Società; per una base minima a 24 canali i tiri non dovranno essere in numero inferiore a 5 dei quali 3 interni alla base e 2 esterni.

Nel caso in cui sia prevista una elaborazione tomografica le spaziature geofoniche devono essere comprese tra 1/10 e 1/20 del target dell'indagine mentre gli shot dovranno essere effettuati ogni 4-5 stazioni geofoniche e registrati per una lunghezza di "base" almeno 5 volte la profondità del target stesso.

L'elaborazione dei dati dovrà essere realizzata mediante software in grado di fornire i valori dei parametri di velocità, relativi ai rifrattori individuati, per ogni stazione geofonica (ad esempio software che utilizzi il metodo "GRM" - Generalized Reciprocal Method, Palmer '80).

6.1.2.4 Elaborazione tomografica dei dati

Se richiesto dal progetto delle indagini, l'elaborazione dovrà essere sviluppata tramite un'analisi con modellazione del sottosuolo su base anisotropica, la quale dovrà fornire, previa elaborazione con metodologie iterative R.T.C. (Ray Tracing Curvilineo) e algoritmi di ricostruzione tomografica (ad esempio con l'impiego di algoritmi ART - Algebraic Reconstruction Technique, SIRT - Simultaneous Iterative Reconstruction Technique o ILST - Iterative Least Square Technique), il campo delle velocità del sottosuolo ad elevata densità di informazioni: le celle unitarie, di forma

rettangolare o quadrata, potranno avere dimensioni orizzontali (asse x) e verticali (asse z) pari a, rispettivamente, $1/3 \div 1/5$ e $1/5 \div 1/10$ della spaziatura tra i geofoni.

6.1.2.5 Rilievo topografico del piano completo di prospezione sismica

Ad integrazione dell'indagine sismica dovrà essere eseguito un rilievo topografico comprendente la determinazione planoaltimetrica delle ubicazioni dei geofoni delle basi sismiche a rifrazione, riferita a punti notevoli o ad elementi cartografici noti dell'area interessata. Le coordinate del rilievo topografico, dovranno essere inquadrare in un sistema di coordinate generale di progetto fornito dalla Società.

In particolare, per ogni stesa rettilinea isolata saranno determinati le coordinate planoaltimetriche assolute del primo (ed eventualmente anche ultimo) geofono. Nel caso di più stese affiancate e contigue si prenderanno a riferimento il primo (e ultimo) punto dell'intero allineamento. Per ognuno di tali punti terminali verrà restituita una monografia compilata in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.5.

L'ubicazione dei geofoni intermedi potrà essere eseguita con attrezzatura celerimetrica (teodolite) o mediante cordella metrica, livello e stadia. Le distanze e le quote relative dei geofoni intermedi saranno riportate su apposito tabulato.

6.1.2.6 Documentazione

La documentazione di ciascuna indagine dovrà comprendere:

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2.
- sismogrammi originali su supporto digitale (e cartaceo, qualora richiesto);
- profili sismostratigrafici in scala adeguata con indicati i valori delle velocità delle onde di taglio (V_s) calcolati per intervalli omogenei, con indicata la posizione dei singoli geofoni e dei punti di scoppio (compresi quelli più esterni), di eventuali sondaggi geognostici che risultino proiettabili sul profilo stesso e delle intersezioni eventuali con altre stese eseguite;
- confronto tra le dromocrone sperimentali e quelle teoriche;
- elaborazione a isolinee o a campiture di colore delle velocità delle onde di taglio (V_s) in caso di elaborazione tomografica,;
- relazione conclusiva, elaborata in base ai risultati delle indagini svolte in cui saranno indicate le strumentazioni utilizzate, le metodologie operative, gli algoritmi di calcolo impiegati, tabelle e tavole ad integrazione e chiarimento delle analisi, procedure applicate, le risultanze finali ed interpretative;
- documentazione fotografica.
- tabulato con il rilievo di tutti i geofoni intermedi appartenenti ad ogni stesa rettilinea, in termini di distanza reciproca e dislivello.

6.1.3 ANALISI DELLA ATTENUAZIONE ANELASTICA E DETERMINAZIONE DEL FATTORE QUALITÀ

6.1.3.1 Generalità

Consiste in una elaborazione dei dati ottenuti da prospezioni sismiche a rifrazione ad onde di compressione (onde P) e onde di taglio (onde S) in grado di determinare i parametri di Attenuazione Anelastica e Fattore Qualità dei terreni o degli ammassi rocciosi investigati.

L'elaborazione dei dati dovrà essere realizzata mediante software ad elevata valenza diagnostica in grado di fornire i valori dei parametri di Attenuazione e Fattore Qualità, relativi ai rifrattori individuati e per ogni stazione geofonica utilizzando l'algoritmo del "Rapporto Spettrale".

6.1.3.2 Elaborazione tomografica dei dati

Se richiesto dal progetto delle indagini, l'elaborazione dovrà essere sviluppata tramite un'analisi con modellazione del sottosuolo su base anisotropica, la quale dovrà fornire, previa elaborazione con metodologie iterative R.T.C. (Ray Tracing Curvilineo) e algoritmi di ricostruzione tomografica (ad esempio con l'impiego di algoritmi ART - Algebraic Reconstruction Technique, SIRT - Simultaneous Iterative Reconstruction Technique o ILST - Iterative Least Square Technique), il campo delle velocità del sottosuolo ad elevata densità di informazioni: le celle unitarie, di forma rettangolare, potranno avere dimensioni orizzontali (asse x) e verticali (asse z) pari a, rispettivamente, $1/3 \div 1/5$ e $1/5 \div 1/10$ della spaziatura tra i geofoni.

6.1.3.3 Documentazione

La documentazione di ciascuna indagine dovrà comprendere:

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2.
- profili sismostratigrafici in scala adeguata con indicati i parametri dei Fattori Qualità calcolati per intervalli omogenei;
- elaborazione a isolinee o a campiture di colore in caso di elaborazione tomografica;
- relazione conclusiva, elaborata in base ai risultati delle indagini svolte in cui saranno indicati:
- gli algoritmi di calcolo impiegati, tabelle e tavole ad integrazione e chiarimento delle analisi;
- la caratterizzazione su base geofisica ottenuta da correlazione delle risultanze delle analisi ad onde di compressione (V_P) e di taglio (V_S) e Attenuazione onde di compressione (a_P) e di taglio (a_S) e Fattore Qualità delle onde di compressione (Q_P) e delle onde di taglio (Q_S);
- le risultanze finali ed interpretative.

6.1.4 INDAGINE SISMICA A RIFLESSIONE

6.1.4.1 Generalità

L'indagine sismica a riflessione consiste nella energizzazione del sottosuolo e nella registrazione degli arrivi delle onde di compressione (onde P) riflesse, in corrispondenza di geofoni verticali disposti secondo un allineamento con interassi tra i geofoni e lunghezza totale dello stendimento tali da permettere una adeguata profondità di indagine.

La misura dei tempi di arrivo delle onde P ai diversi geofoni permette di ricostruire l'andamento e la profondità delle diverse discontinuità sismiche che costituiscono delle superfici riflettenti.

6.1.4.2 Caratteristiche delle attrezzature

L'attrezzatura di prova dovrà essere costituita dai seguenti componenti:

- sismografo almeno a 72 canali, con possibilità di stack degli impulsi sismici, filtri analogici e digitali programmabili (filtri attivi tipo high pass, band pass e band reject), guadagno verticale del segnale (in ampiezza) e sensibilità tra 6 e 92 decibel, registrazione dei dati in digitale per elaborazioni successive con formato in uscita minimo a 16 bit;
- un numero di geofoni adeguato ad ottemperare ai vincoli della copertura minima del 2400% (almeno 72 se lo shot avviene per ogni stazione); i sensori dovranno avere una frequenza propria adeguata ai materiali indagati
- sistema di energizzazione adeguato alla profondità di indagine; potrà essere costituito da cannoncino sismico calibro 8 (equipaggiato ad es. con cartucce industriali a pallettoni di Pb ed in grado di fornire una velocità alla bocca di 400 ÷ 600 m/s) oppure da cariche di esplosivo.

6.1.4.3 Modalità esecutive

L'indagine e l'elaborazione dei dati dovranno garantire una molteplicità di copertura minima del 2400%.

L'insieme dei dati acquisiti dovrà essere organicamente elaborato, mediante software dotati di alta valenza risolutiva, attuando nel modo più rigoroso le fasi sequenziali del procedimento analitico.

- 1) Correzioni statiche
- 2) Muting
- 3) Analisi spettrale
- 4) Filtraggi sia nel dominio dei tempi che in quello delle frequenze con filtri variabili
- 5) FK filter sia in velocità che polinomiali
- 6) Analisi di velocità (Normal Move Out)
- 7) Deconvoluzione
- 8) Stacking
- 9) Correzioni statiche residue
- 10) Migrazione

6.1.4.4 Rilievo topografico del piano completo di prospezione sismica

Ad integrazione dell'indagine sismica dovrà essere eseguito un rilievo topografico comprendente la determinazione planoaltimetrica delle ubicazioni dei geofoni delle basi sismiche a riflessione,

referita a punti notevoli o ad elementi cartografici noti dell'area interessata. Le coordinate del rilievo topografico, dovranno essere inquadrare in un sistema di coordinate generale di progetto fornito dalla Società.

In particolare, per ogni stesa rettilinea saranno determinati le coordinate planoaltimetriche assolute del primo (ed eventualmente anche ultimo) geofono. Nel caso di più stese affiancate e contigue si prenderanno a riferimento il primo (e ultimo) punto dell'intero allineamento. Per ognuno di tali punti terminali verrà restituita una monografia compilata in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.5.

L'ubicazione dei geofoni intermedi potrà essere eseguita con attrezzatura celerimetrica (teodolite) o mediante cordella metrica, livello e stadia. Le distanze e le quote relative dei geofoni intermedi saranno riportate su apposito tabulato.

6.1.4.5 Documentazione

La documentazione di ciascuna indagine dovrà comprendere:

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2.
- sismogrammi originali su supporto digitale (e cartaceo, qualora richiesto);
- sismosezioni dei tempi (ms) in ordinate e delle distanze (m) in ascisse della elaborazione finale di ogni linea sismica a riflessione;
- sismosezioni delle profondità (m) in ordinate e delle distanze (m) in ascisse della elaborazione finale di ogni linea sismica a riflessione;
- relazione conclusiva con indicate le metodologie impiegate, gli algoritmi e i criteri di calcolo ed elaborazione adottati con commenti sulle risultanze ottenute e correlazione con le informazioni di natura geologica dell'area in esame;
- documentazione fotografica.
- tabulato con il rilievo di tutti i geofoni intermedi appartenenti ad ogni stesa rettilinea, in termini di distanza reciproca e dislivello.

6.1.5 PROSPEZIONE SISMICA DOWN HOLE IN FORO DI SONDAGGIO

6.1.5.1 Generalità

La prova consiste nella misurazione dei tempi di arrivo di impulsi sismici generati in superficie ad un ricevitore posto all'interno di un foro di sondaggio verticale, adeguatamente rivestito con apposita tubazione.

La prova consente la misura diretta delle velocità di propagazione V_P delle onde di compressione (onde P) e V_S delle onde di taglio (onde S) e la determinazione dei parametri elastici dei terreni in condizioni dinamiche.

Si prevedono due diversi assetti metodologici:

- utilizzo di una singola sonda costituita da una tripletta di geofoni tridirezionali quale strumento ricevitore;
- utilizzo di una coppia di sonde costituite ognuna da una tripletta di geofoni tridirezionali da inserire in foro a interasse fisso (compreso di norma tra 1 e 4 metri) secondo la metodologia denominata "true time interval".

La procedura "true time Interval" con doppia sonda è nettamente preferibile al sensore singolo. Ad essa si farà sempre e comunque riferimento nell'esecuzione delle prove, salvo esplicita e preventiva autorizzazione della Società.

6.1.5.2 Normative e specifiche di riferimento

- ISRM Commission on Testing Methods (1988) – Suggested Methods for Seismic Testing Within and Between Boreholes – Part 2: Suggested Method for Seismic Testing Within a Borehole
- ASTM D7400 - Standard Test Methods for Down hole Seismic Testing

L'Impresa dovrà in ogni caso attenersi a quanto di seguito specificato.

6.1.5.3 Caratteristiche delle attrezzature

L'attrezzatura di prova dovrà essere costituita dai seguenti componenti:

- sistema di energizzazione costituito da una massa battente manovrata a mano (mazza da 10 kg), agente a percussione in diverse direzioni su un massello di legno o calcestruzzo, ben saldato al terreno e posto nelle adiacenze della testa foro; potranno essere utilizzati anche un percussore oleodinamico agente all'interno di una piccola cassaforma interrata, oppure altri dispositivi concordati con la Società; è onere e responsabilità dell'Impresa dimensionare correttamente il sistema di energizzazione, in funzione della natura e delle caratteristiche dei terreni, che sono da considerarsi noti, in quanto le misure sono successive alla perforazione dei sondaggi entro i quali si eseguono le stesse; la sorgente di energia superficiale dovrà essere collocata ad una distanza adeguata dalla bocca del foro in funzione della migliore risoluzione dell'indagine stessa;
- se richiesto dalla Società, nelle adiacenze della testa del foro, si dovrà realizzare un cubo in calcestruzzo di lato 50 cm, inserito nel terreno per 20 cm e reso ben solidale con il medesimo; il cubo deve, a presa ed indurimento avvenuti, essere resistente alla percussione manuale con mazza da 10 kg e deve essere privo di lesioni, fratture, fessure da ritiro; in alternativa al cubo, sempre se richiesto, dovrà essere realizzato un alloggiamento interrato in cls per l'uso di un

percussore idraulico;

- 1 o 2 sonde tridirezionali, a frequenza compresa fra 8 e 14 Hz, e di diametro minore o uguale a 70 mm, da calare nel foro a profondità prefissate, in grado di registrare i tempi di arrivo delle onde di compressione e di taglio; ogni ricevitore deve potere essere reso solidale con la tubazione di rivestimento del foro tramite un dispositivo di bloccaggio meccanico o pneumatico;
- sismografo registratore a 12 canali, in grado di realizzare campionature di segnali tra 0.025 e 2 millisecondi e dotato di filtri high pass, band pass e band reject, di "Automatic Gain Control" e di convertitori A/D del segnale campionato ad almeno 16 bit;
- dispositivo di segnalazione di partenza automatica del segnale (trigger), caratterizzato da velocità di partenza inferiore a 10 microsecondi; il trigger non è necessario se si adotta l'assetto "true time interval" con doppio sensore;
- apposito software per l'elaborazione dei dati, in grado di fornire i valori di velocità delle onde di compressione e di taglio per ogni stazione di misura impiegando iterativamente algoritmi di calcolo adeguati (es. ART, SIRT, e ILSP) previo controllo dei tragitti dei raggi sismici (Ray Tracing Curvilineo).

6.1.5.4 Modalità esecutive

Le modalità di esecuzione della prova dovranno essere le seguenti:

- posizionamento e bloccaggio della coppia di ricevitori a interasse fisso (o del singolo ricevitore, qualora ammesso) in corrispondenza del primo punto di prova, in accordo con il progetto delle indagini;
- generazione dell'impulso (è ammessa anche la somma di più impulsi) e registrazione dei tempi di arrivo delle onde di compressione e delle onde di taglio;
- generazione dell'impulso in opposizione di fase al precedente con identica posizione geofonica in foro (è ammessa anche la somma di più impulsi) e registrazione dei tempi di arrivo delle onde di compressione e delle onde di taglio;
- ripetizione delle medesime operazioni lungo tutta la verticale d'indagine.

Le misure saranno riferite all'intervallo di profondità e avranno frequenza non inferiore a 1 misura ogni metro di sondaggio.

6.1.5.5 Documentazione

La documentazione di ciascuna indagine dovrà comprendere:

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2.
- caratteristiche tecniche delle attrezzature (energizzatore, contrasto, sensori, trigger, sismografo, sistema di memorizzazione);
- tabulato (disponibile in copia informatica e cartacea) contenente, per le varie profondità di prova, per ogni stazione: tempi di propagazione delle onde di compressione e taglio, velocità delle onde di compressione e taglio, e intervallo di profondità utilizzato per il calcolo (nel caso di singolo sensore);
- tabulato (disponibile in copia informatica e cartacea) contenente, per le varie profondità di prova, per ogni stazione: peso di volume adottato, coefficiente di Poisson, - modulo di elasticità dinamico, modulo di taglio dinamico, modulo di compressibilità dinamico;
- sismogrammi in originale delle registrazioni di campagna su supporto magnetico;

- relazione conclusiva, elaborata in base ai risultati delle indagini svolte in cui saranno indicati
 - gli algoritmi di calcolo impiegati, tabelle e tavole ad integrazione e chiarimento delle analisi;
 - elaborati grafici riportanti:
 - tempi di arrivo delle onde di compressione e di taglio;
 - velocità delle onde di compressione e di taglio;
 - attenuazione e fattore qualità;
 - tracce sismografiche onde di compressione;
 - tracce sismografiche onde di taglio;
 - risultanze finali ed interpretative.

6.1.6 PROSPEZIONE SISMICA CROSS HOLE TRA FORI DI SONDAGGIO

6.1.6.1 Generalità

La prova consiste nella misurazione dei tempi di arrivo di impulsi sismici generati in profondità all'interno di un foro di sondaggio verticale ad un ricevitore posto all'interno di un secondo foro di sondaggio verticale. I fori, paralleli e adeguatamente rivestiti con apposita tubazione, dovranno essere ad una distanza reciproca compresa tra 5 e 20 m.

La prova consente la misura diretta delle velocità di propagazione V_P delle onde di compressione (onde P) e V_S delle onde di taglio (onde S) e la determinazione dei parametri elastici dei terreni in condizioni dinamiche.

6.1.6.2 Normative e specifiche di riferimento

- ASTM D 4428/D 4428M– Standard Test Method for Crosshole Seismic Testing

L'Impresa dovrà in ogni caso attenersi a quanto di seguito specificato.

6.1.6.3 Caratteristiche delle attrezzature

L'attrezzatura di prova dovrà essere costituita dai seguenti componenti:

- sistema di energizzazione costituito da cannoncino sismico fondo foro, microcariche di esplosivo o da capsule detonanti oppure da un generatore elettrodinamico, in grado di fornire energia in quantità sufficiente alla generazione di impulsi in modo che risultino leggibili; è onere e responsabilità dell'Impresa dimensionare correttamente il sistema di energizzazione, in funzione della natura e delle caratteristiche dei terreni e che sono da considerarsi noti, in quanto le misure sono successive alla perforazione dei sondaggi entro i quali si eseguono le stesse; la sorgente energizzante dovrà presentare una forte componente di energia di taglio e dovrà essere orientabile;
- geofoni da foro tridirezionali, a frequenza compresa fra 8 e 14 Hz, di diametro minore o uguale a 70 mm, da calare nel foro a profondità prefissate, in grado di registrare i tempi di arrivo delle onde di compressione e di taglio; il ricevitore deve potere essere reso solidale con la tubazione di rivestimento del foro tramite un dispositivo di bloccaggio meccanico o pneumatico;
- sismografo registratore a 12 canali, in grado di realizzare campionature di segnali tra 0.025 e 2 millisecondi e dotato di filtri high pass, band pass e band reject, di "Automatic Gain Control" e di convertitori A/D del segnale campionato ad almeno 16 bit;
- apposito software per l'elaborazione dei dati, in grado di fornire i valori di velocità delle onde di compressione e di taglio per ogni stazione di misura impiegando iterativamente algoritmi di calcolo adeguati (es. ART, SIRT, e ILSP), previo controllo dei tragitti dei raggi sismici (Ray Tracing Curvilineo).

6.1.6.4 Controllo preliminare della verticalità

Precedentemente all'esecuzione delle misure deve essere verificata la verticalità delle tubazioni installate, in modo da conoscere la esatta distanza fra i fori alle varie profondità.

Per queste misure verrà utilizzata una sonda inclinometrica con 2 sensori ortogonali con sensibilità superiore a 0.07 gradi. La sonda sarà costituita da un corpo cilindrico equipaggiabile con sensori

per la misura dell'inclinazione in due direzioni ortogonali; la sonda sarà calata in foro attraverso aste a sezione quadrata con connessione a baionetta, in grado di evitare modifiche dell'orientazione azimuthale della sonda per l'intera profondità. Le misure verranno effettuate ogni $1 \div 2$ m e la loro restituzione grafica, che evidenzia la distanza in ogni punto della coppia di fori cross-hole, farà parte integrante della documentazione.

6.1.6.5 Modalità esecutive

Le modalità di esecuzione della prova dovranno essere le seguenti:

- posizionamento e bloccaggio di sorgente (in un foro) e ricevitore (nell'altro foro) in corrispondenza della prima coppia di posizioni coniugate, in accordo con il progetto delle indagini; sorgente e ricevitore dovranno essere posizionati alla medesima profondità, in modo da realizzare un percorso delle onde orizzontale;
- generazione dell'impulso (è ammessa anche la somma di più impulsi) e registrazione dei tempi di arrivo delle onde di compressione e delle onde di taglio;
- generazione dell'impulso in opposizione di fase al precedente con identica posizione geofonica in foro (è ammessa anche la somma di più impulsi) e registrazione dei tempi di arrivo delle onde di compressione e delle onde di taglio;
- ripetizione delle medesime operazioni per ciascuna coppia di punti coniugati lungo le due verticali d'indagine.

Le misure saranno relative all'intervallo di profondità e avranno frequenza non inferiore a 1 misura ogni metro.

6.1.6.6 Documentazione

La documentazione di ciascuna indagine dovrà comprendere:

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2.
- grafici e tabulati del rilievo della verticalità presentati in modo che risulti facilmente determinabile la distanza fra i fori alle diverse profondità;
- caratteristiche tecniche delle attrezzature (energizzatore, contrasto, sensori, trigger, sismografo, sistema di memorizzazione);
- tabulato (disponibile in copia informatica e cartacea) contenente i risultati di prova alle varie profondità: tempi di propagazione delle onde di compressione e taglio, velocità delle onde di compressione e taglio;
- sismogrammi in originale delle registrazioni di campagna su supporto magnetico;
- relazione conclusiva, elaborata in base ai risultati delle indagini svolte in cui saranno indicati:
 - gli algoritmi di calcolo impiegati, tabelle e tavole ad integrazione e chiarimento delle analisi;
 - elaborati grafici riportanti:
 - eventuali stratigrafie semplificate dei sondaggi;
 - tempi di arrivo delle onde di compressione e di taglio;
 - velocità delle onde di compressione e di taglio;
 - tracce sismografiche onde di compressione;
 - tracce sismografiche onde di taglio;
 - risultanze finali ed interpretative.

6.1.7 PROSPEZIONE SISMICA (DOWN HOLE) IN PROVA PENETROMETRICA O DILATOMETRICA (S-CPT, S-DMT)

La prova consiste nel misurare onde sismiche di taglio generate in superficie durante l'infissione a pressione nel terreno di una punta elettrica (S-CPTE), di un piezocono (S-CPTU) o di un dilatometro piatto Marchetti (S-DMT), essendo tali strumenti provvisti di un modulo sismico costituito da uno o due geofoni.

Scopo della prova è poter generare delle onde di taglio durante l'esecuzione della prova, attraverso un dispositivo energizzatore posto in superficie, e misurando il ritardo di arrivo delle onde in sensori posti a profondità nota.

Si prevedono due diversi assetti metodologici:

1. modulo sismico costituito da un sensore biassiale per la misura delle onde di taglio;
2. modulo sismico costituito da due sensori biassiali a interasse di 1 metro l'uno dall'altro (secondo la metodologia denominata "true time interval"), per la misura delle onde di taglio. In aggiunta potranno essere predisposti altri due sensori biassiali verticali a interasse 1 metro, per la misura delle onde di compressione.

La procedura "true time Interval" a doppio geofono è nettamente preferibile al sensore singolo. Ad essa si farà sempre e comunque riferimento nell'esecuzione delle prove, salvo esplicita e preventiva autorizzazione della Società.

Quanto riportato di seguito si riferisce esclusivamente all'esecuzione dell'indagine sismica. Per quanto concerne la realizzazione della prova penetrometrica o dilatometrica valgono le istruzioni riportate nei capitoli corrispondenti.

6.1.7.1 Normative e specifiche di riferimento

- ASTM D7400 - Standard Test Methods for Down hole Seismic Testing

L'Impresa dovrà in ogni caso attenersi a quanto di seguito specificato.

6.1.7.2 Caratteristiche delle attrezzature

L'attrezzatura specifica per l'esecuzione della prova sismica consiste in:

- maglio energizzatore, di peso compreso normalmente tra 5 e 15 kg,
- mezzo di contrasto superficiale, costituito dalla trave di superficie, in acciaio (dimensioni minime 2.0-2.4x0.15x0.25 m), o in legno massiccio con piastre in acciaio solidali alle estremità (per un peso min. di 40 kg). La trave sarà provvista di denti o cunei di vincolo al terreno per impedire slittamenti orizzontali. Qualora si utilizzi un penetrometro autocarrato zavorrato, in sostituzione alla trave è ammesso l'utilizzo di una piastra vincolata a terra da una ruota o da uno stabilizzatore idraulico del carro;
- modulo sismico costituito da un'asta posta sopra la punta penetrometrica, contenente 1 o 2 sensori biassiali (siano essi geofoni, sismometri o accelerometri) aventi frequenza massima pari a 28 Hz; qualora si tratti di due sensori la distanza reciproca tra gli stessi sarà pari a 1 m;
- oscilloscopio digitale, avente capacità di memorizzazione dei punti per intervalli non maggiori di 50 microsecondi, oppure sismografo con capacità di campionamento inferiore a 0.02 ms;

- dispositivo di segnalazione di partenza automatica del segnale (trigger), caratterizzato da velocità di partenza inferiore a 10 microsecondi; il trigger non è necessario se si adotta l'assetto "true time interval" con doppio sensore;
- data logger di acquisizione dei dati.

6.1.7.3 Modalità esecutive

Ad inizio della prova penetrometrica, durante l'inserimento nel terreno della punta e del modulo sismico, si avrà cura nell'allineare lo strumento in maniera tale che i sensori risultino orientati parallelamente alle direzioni di impatto che saranno generate successivamente. Durante la penetrazione della punta e l'avvitamento delle aste si avrà cura nell'impedire rotazioni della punta.

Laddove sia necessario l'uso del trigger, lo stesso viene fissato alla strumentazione di superficie, si tratti della testa della mazza o la trave a terra.

Ad intervalli di profondità stabiliti (di norma ogni m, salvo diversa indicazione) viene interrotta la penetrazione della punta, svincolando l'asta sommitale dagli apparanti di supporto.

Le misure inizieranno a non meno di 2 m da piano campagna, per evitare gli effetti delle onde di superficie.

Viene quindi generato l'impulso, agendo con il maglio secondo un assetto "a pendolo" su un'estremità laterale della piastra di contrasto, secondo una direzione parallela tra asse di impatto e asse attivo del sensore posto in profondità.

I segnali di ricezione sono visualizzati sul visore dell'oscilloscopio. Si ripete il colpo, verificando sul visore la sovrapposibilità dei segnali con quelli relativi al colpo precedente. Qualora siano sufficientemente puliti e rappresentativi si registrano i tempi di arrivo delle onde di taglio. In caso contrario si ripeterà la misura con un nuovo impatto.

- Nel caso si utilizzi la coppia di sensori a interasse 1 m, le tracce di entrambi verranno proiettate sul visore. Il loro esame permette una preliminare valutazione del tempo di propagazione.
- Nel caso si utilizzi il sensore singolo, ad ogni impatto viene visualizzato il segnale di ricezione singolo.

Successivamente la trave viene colpita nella direzione opposta alla precedente, così da invertire la direzione del moto, ripetendo la procedura sopra descritta.

6.1.7.4 Risultati e calcoli

Essendo nota la profondità della punta rispetto alla superficie, e quindi la profondità dei sensori, si può quindi calcolare la corrispondente velocità delle onde di taglio relative alla porzione di terreno indagata. La velocità si calcola nell'intervallo di penetrazione del cono tra due profondità successive..

Secondo l'assetto "true time Interval" la velocità si ottiene valutando la differenza tra i tempi di ricezione del segnale tra i due sensori, nota o loro distanza reciproca.

6.1.7.5 Documentazione

La documentazione della prova dovrà comprendere, per ogni verticale di indagine:

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2.
- riferimenti identificativi circa la prova penetrometrica associata

- assetto metodologico adottato ("true time interval" o singolo sensore)
- caratteristiche tecniche delle attrezzature (energizzatore, contrasto, modulo sismico, sensori, trigger, oscilloscopio, sistema di memorizzazione);
- distanza orizzontale tra il centro della trave di contrasto e la verticale di prova;
- tabulato (disponibile in copia informatica e cartacea) contenente i risultati di prova alle varie profondità: tempi di propagazione delle onde di taglio, velocità delle onde di taglio e intervallo di profondità utilizzato per il calcolo (nel caso di singolo sensore) ;
- grafico cumulativo che riporti in ascissa l'andamento delle velocità delle onde di taglio (m/s) e in ordinate la profondità di prova;
- eventuali note e osservazioni relative alla prova;
- sismogrammi originali relativi ad ogni impulso registrato.

6.1.8 PROSPEZIONE GEOTOMOGRAFICA

6.1.8.1 Generalità

Nella prospezione sismica geotomografica, eseguita in corrispondenza di una sezione delimitata da due superfici comunque inclinate (costituite ad es. da due fori di sondaggio oppure dalla superficie topografica e un foro di sondaggio), l'energizzazione viene ripetuta ad intervalli costanti in corrispondenza di uno dei due allineamenti, in modo da ottenere una fitta rete di percorsi sismici e quindi una mappa della distribuzione delle velocità sismiche nella sezione indagata.

La geometria degli allineamenti e il numero di energizzazioni e stazioni geofoniche andrà opportunamente calibrata in relazione alla risoluzione richiesta e alle strutture da indagare.

6.1.8.2 Normative e specifiche di riferimento

- ISRM Commission on Testing Methods (1988) – Suggested Methods for Seismic Testing Within and Between Boreholes – Part 4: Suggested Method for Seismic Tomography

L'Impresa dovrà in ogni caso attenersi a quanto di seguito specificato.

6.1.8.3 Caratteristiche delle attrezzature

L'attrezzatura di prova dovrà essere costituita dai seguenti componenti:

- sismografo caratterizzato da un numero di canali uguale o superiore alle stazioni geofoniche installate (normalmente 24 canali) con possibilità di stack degli impulsi sismici, filtri analogici e digitali programmabili (filtri attivi tipo high pass, band pass e band reject), guadagno verticale del segnale (in ampiezza) e sensibilità tra 6 e 92 decibel, registrazione dei dati in digitale per elaborazioni successive con formato in uscita minimo a 16 bit; il maggior numero di canali del sismografo è indispensabile per ottenere dati coerenti, avere tutta la sezione collegata ai sismografi ed evitare errori di time break e di attenuazione del segnale;
- geofoni di superficie o da foro (idrofoni), a frequenza propria variabile tra 8 e 14 Hz;
- sistema di energizzazione adeguato all'indagine; potrà essere costituito da cannoncino sismico calibro 8 (equipaggiato ad es. con cartucce industriali a pallettoni di Pb ed in grado di fornire una velocità alla bocca di $400 \div 600$ m/s) oppure da cariche di esplosivo.

6.1.8.4 Modalità esecutive

L'esecuzione dell'indagine consiste nell'utilizzo di una stringa di geofoni se in superficie o idrofoni se in foro a frequenza compresa tra 8 e 14 Hz, a distanza prefissata.

L'energizzazione verrà effettuata o in foro oppure in superficie ed il posizionamento dei punti di energizzazione dovrà essere in numero uguale o maggiore del numero dei sensori impiegati in modo da ottenere un reticolo di analisi adeguato agli scopi della ricerca ed in ogni caso concordati con la Società. L'energizzazione inoltre dovrà essere adeguata alle distanze tra le sorgenti ed i ricevitori ed alla risoluzione richiesta.

6.1.8.5 Installazione delle tubazioni

Vale quanto riportato per le prospezioni sismiche tra fori di sondaggio (cross-hole).

6.1.8.6 Elaborazione dei dati

L'elaborazione dovrà essere sviluppata tramite un'analisi con modellazione del sottosuolo su base anisotropica, la quale dovrà fornire, previa elaborazione con metodologie iterative R.T.C. (Ray Tracing Curvilineo) e algoritmi di ricostruzione tomografica (ad esempio con l'impiego di algoritmi ART - Algebraic Reconstruction Technique, SIRT - Simultaneous Iterative Reconstruction Technique o ILST - Iterative Least Square Technique), il campo delle velocità del sottosuolo ad elevata densità di informazioni: le celle unitarie, di forma rettangolare, potranno avere dimensioni non inferiori alla spaziatura dei geofoni.

6.1.8.7 Rilievo topografico del piano completo di prospezione sismica

Ad integrazione dell'indagine sismica dovrà essere eseguito un rilievo topografico comprendente la determinazione planoaltimetrica delle ubicazioni dei geofoni delle basi sismiche a rifrazione, riferita a punti notevoli o ad elementi cartografici noti dell'area interessata. Le coordinate del rilievo topografico, dovranno essere inquadrate in un sistema di coordinate generale di progetto fornito dalla Società.

In particolare, dovrà essere realizzata una scheda monografica per un vertice della sezione, compilata in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.5. L'ubicazione dei sensori intermedi potrà essere eseguita con attrezzatura celerimetrica (teodolite) o mediante cordella metrica, livello e stadia. Le distanze e le quote relative dei geofoni intermedi saranno riportate su apposito tabulato.

Se sono previsti sensori in foro saranno necessarie misure clinometriche o di controllo della verticalità della tubazione installata.

6.1.8.8 Documentazione

La documentazione di ciascuna indagine dovrà comprendere:

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2.
- sismogrammi originali su supporto magnetico;
- mappature in tonalità di colore relative alla sezione tomografica in termini di ray tracing, di densità dei dati e di velocità delle onde di compressione (V_P);
- tabelle con i parametri di input e calcolati;
- relazione in cui vengono riportate le metodologie di indagine, gli algoritmi impiegati, le analisi realizzate e le risultanze dell'analisi.

6.1.9 LOG SONICO

6.1.9.1 Descrizione della prova

La tecnica di indagine con log sonico consiste nel rilevare la velocità e le modalità di propagazione delle onde elastiche nel materiale circostante una perforazione mediante una sonda cilindrica dotata di un emettitore di impulsi in testa e di uno o più ricevitori all'estremità inferiore.

Le caratteristiche del materiale indagato ed il suo stato di integrità influenzano, oltre che la velocità, anche l'ampiezza, la frequenza e la forma dei segnali sonici, che possono essere indagate in dettaglio con la medesima attrezzatura, secondo la tecnica del log continuo.

6.1.9.2 Caratteristiche delle attrezzature

L'attrezzatura di prova dovrà essere costituita dai seguenti componenti:

- sonda di prova, costituita da un corpo cilindrico di diametro generalmente compreso tra 45 e 60 mm, con emettitore sonico di tipo piezoelettrico all'estremità superiore e 1 o 2 ricevitori piezoelettrici all'estremità opposta, separati da una distanza di $0.5 \div 1$ m, e da un corpo intermedio di materiale in grado di impedire la diretta propagazione dell'impulso sonico da emettitore a ricevitore; nel caso di sonda con 2 ricevitori, anche questi saranno separati da un corpo intermedio in grado di assorbire gli impulsi diretti;
- cavi elettrici di connessione della sonda con una centralina di acquisizione e registrazione dei segnali, ubicata in superficie;
- sistema di trascinamento del cavo dotato di motore elettrico e dispositivo per il controllo della profondità della sonda;
- PC per la visualizzazione e la stampa del diagramma di velocità ("log sonico") e della diagrafia sonica ("log continuo").

6.1.9.3 Modalità esecutive

La sonda dovrà essere inserita in un foro di sondaggio verticale, rivestito, salvo diversa disposizione scritta della Società o contenuta nel progetto delle indagini, con tubazione in PVC di diametro interno generalmente compreso tra 75 e 100 mm, cementata con una miscela acqua, cemento e bentonite con proporzioni in peso pari a 100, 30 e 5. Il foro dovrà essere riempito di fluido di circolazione.

La misura dovrà avvenire in due distinte fasi:

- "log continuo", eseguito facendo risalire con velocità costante lungo il foro la sonda con registrazione degli impulsi sonici ogni $2 \div 5$ cm;
- "log sonico", eseguito in risalita, con registrazione degli impulsi ad intervalli di 50 cm, salvo diversa disposizione scritta della Società o contenuta nel progetto delle indagini.

6.1.9.4 Documentazione

La documentazione di ciascuna verticale di prova dovrà comprendere:

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2.
- diagrammi della velocità delle onde P (m/s o km/s) in funzione della profondità (m);

- diagrafia sonica a densità, variabile con la sequenza dei segnali sonici ($m\bar{s}$ o ms) in funzione della profondità (m);
- diagramma del modulo di elasticità dinamico, calcolato in funzione della profondità;
- nota descrittiva delle operazioni eseguite con commenti e valutazioni interpretative dei risultati ottenuti.

Nel caso si riescano a riconoscere chiaramente gli arrivi delle onde S, la documentazione comprenderà anche:

- diagrammi della velocità delle onde S (m/s o km/s) in funzione della profondità (m);
- diagramma del coefficiente di Poisson dinamico, calcolato in funzione della profondità;
- diagramma del modulo di taglio dinamico, calcolato in funzione della profondità.

6.1.10 PROSPEZIONE SISMICA DI SUPERFICIE SASW E MASW

6.1.10.1 Generalità

L'analisi spettrale delle onde di superficie, denominata SASW (Spectral Analysis of Surface Waves), o MASW (Multi-Spectral Analysis of Surface Waves) consiste nella energizzazione del terreno dalla superficie e nella registrazione delle onde di superficie (di tipo Rayleigh) in corrispondenza di una serie di geofoni allineati in asse con la sorgente.

Attraverso un procedimento di inversione della curva di dispersione prodotta si giunge alla ricostruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio Vs per la successiva determinazione dei moduli di elasticità tangenziali (G_0) a bassissimi livelli di deformazione.

La tecnica tradizionale SASW si basa su un protocollo sperimentale con due canali (geofoni) di acquisizione.

La tecnica MASW (o SASW-M) è una evoluzione metodologica della precedente e si basa sulla registrazione delle onde di superficie in corrispondenza di una serie di geofoni a interasse fisso (MASW) o variabile (SASW-M), allineati con la sorgente.

Le metodologie consentono di definire il profilo di velocità delle onde di taglio dei terreni; adottando diverse strumentazioni e diversi protocolli sperimentali la prospezione può essere applicata a:

- caratterizzazione delle pavimentazioni e del corpo dei rilevati stradali,
- caratterizzazione di terreni in superficie o in profondità, fino a qualche decina di metri, anche per la determinazione del Vs30 (velocità delle onde di taglio Vs nei primi 30 m di profondità).

6.1.10.2 Caratteristiche delle attrezzature

- cordella metrica e strumenti per la pulizia e preparazione della superficie del terreno;
- sistema di energizzazione di tipo impulsivo, costituito normalmente da mazze di massa variabile fino a circa 8-10 kg, in relazione alla lunghezza degli stendimenti. L'eventuale ricorso ad altri tipi di sorgente, non impulsivi, di tipo armonico o a frequenza variabile, dovranno essere preventivamente autorizzate dalla Società e concordate con il fornitore;
- un sismografo multicanale; caratterizzato da un numero di canali uguale o superiore alle stazioni geofoniche installate, dotato di memoria di massa e in grado di consentire la registrazione digitale dei segnali. La frequenza di campionamento dovrà essere ad ampio spettro:
 - o 10 - 1000 Hz per la caratterizzazione di terreni naturali, a profondità variabile;
 - o 10 - 10000 Hz per la caratterizzazione delle pavimentazioni e strati superficiali di fondazione;
- serie di sensori in grado di misurare il campo di moto nella direzione verticale, costituiti da:
 - o geofoni con frequenza pari a 4.5 Hz per la determinazione delle onde in terreni a profondità maggiore di qualche metro dalla superficie;
 - o accelerometri o geofoni con frequenza pari a 60 Hz (o superiore) per la caratterizzazione delle pavimentazioni e degli strati superficiali di sotto-fondazione, fino a qualche metro di profondità;

- software di elaborazione e inversione del segnale.

6.1.10.3 Modalità esecutive

La superficie di appoggio su cui verrà realizzato l'allineamento verrà preventivamente regolarizzata, asportando eventuale vegetazione.

La procedura di prova prevede la disposizione di una serie di ricevitori (geofoni o accelerometri), in numero variabile lungo un allineamento sulla superficie della verticale da investigare.

Qualora si operi su asfalto o piano cementato, ogni qual volta sia possibile, è raccomandata l'esecuzione di piccoli prefiori con un trapano per l'inserimento delle punte dei geofoni. Qualora ciò non sia possibile è consentito l'uso di supporti ad alta densità da appoggiare a terra.

La prova si esegue trasmettendo da una sorgente al terreno una forza di tipo impulsivo, attraverso il sistema di energizzazione a massa battente.

La sorgente sarà ubicata alternativamente su entrambi gli estremi dell'allineamento. Ciò consente di ottenere una compensazione di eventuali distorsioni di fase interne dei geofoni, e una parziale riduzione degli effetti dovuti a discontinuità locali o a stratificazioni leggermente inclinate del deposito.

Il campionamento temporale dovrà garantire che tutto il treno d'onda relativo alla propagazione delle onde superficiali sia registrato, quindi la durata dell'acquisizione dovrà essere maggiore o uguale al tempo necessario per l'armonica più lenta a raggiungere il sensore più lontano. L'intervallo di campionamento dovrà garantire la stima delle armoniche di interesse in base alle regole del campionamento (frequenza di campionamento almeno doppia - meglio se pari a cinque volte - della frequenza più alta da registrare).

Il protocollo sperimentale di dettaglio sarà differente in relazione alle finalità dell'indagine e al dettaglio richiesto.

6.1.10.3.1 Metodologia SASW e SASW-M a distanza intergeofonica variabile

Secondo questa metodologia il numero di geofoni dello stendimento sarà concordato con la Società precedentemente all'esecuzione dell'indagine. In linea di principio si potrà operare con due soli geofoni (SASW tradizionale) o con uno stendimento costituito da un numero di ricevitori maggiore, normalmente con un minimo di 6 geofoni (SASW-Multicanale).

La prova si eseguirà secondo la sequenza descritta di seguito:

- data una configurazione geometrica dei ricevitori a distanza intergeofonica X_0 , si pone la sorgente ad un estremo dell'allineamento (normalmente secondo una distanza D tra sorgente e primo ricevitore tale per cui $D_0 = X_0$)
- si esegue l'energizzazione e la si ripete più volte, controllando dopo ogni battuta la qualità dei dati acquisiti;
- si sposta la sorgente di energizzazione all'estremo opposto, simmetrico rispetto al punto medio dell'allineamento dei ricevitori, e si esegue una nuova serie di energizzazioni;
- si varia la base di misura D_1 , allontanando tutti i geofoni rispetto al punto medio dell'allineamento (che costituisce un punto fisso); la nuova sorgente sarà ubicata a inizio allineamento della stessa ampiezza $X_1 = D_1$;
- si esegue una nuova serie di energizzazioni, da ripetere successivamente anche all'estremo opposto, così come nella configurazione precedente.

- si prosegue nuovamente la serie per basi di misura D_i più ampie (tenendo sempre a riferimento fisso il punto medio tra tutti i geofoni), fino alla completa caratterizzazione del sito.

Le distanze iniziali della base di partenza, il numero delle basi da realizzarsi per ogni prova, e la loro distanza, varieranno in relazione alla profondità massima di indagine e alla tipologia del sito, avendo presente che la minima profondità (teorica) che si riesce a investigare è normalmente pari alla metà dell'interasse tra i ricevitori

Indicativamente si possono prevedere 5-10 basi su ogni verticale, secondo la seguente configurazione:

- A. per la caratterizzazione di un terreno in profondità si utilizzeranno geofoni a bassa frequenza (4.5 Hz); la distanza tra i ricevitori potrà variare indicativamente tra 3 m fino a 6 m - 10 m (15 m), laddove la distanza massima ammissibile è inversamente proporzionale al numero di geofoni. Per distanze elevate potrebbe essere necessario utilizzare sorgenti ad elevata energia di impatto;
- B. per la caratterizzazione di pavimentazioni o terreni superficiali le distanze tra i ricevitori sono minori e variano indicativamente fra 0.1 m e 3 m; si utilizzeranno allo scopo accelerometri o geofoni a frequenza elevata (60 Hz) e un sismografo a più ampio spettro.

Si noti che la registrazione di dati ottenuti con diverse energizzazioni, realizzate allontanando progressivamente la base di misura tra i ricevitori e tra i ricevitori e sorgente, permette di mettere in relazione le diverse frequenze con le velocità di propagazione delle onde di superficie acquisite, arrivando a definire con maggiore dettaglio la curva di dispersione sperimentale del sito di indagine.

Si sottolinea che per ciascuna base di misura si possono trarre informazioni riguardanti un limitato intervallo di frequenza; solo variando la distanza fra i ricevitori la curva di dispersione può essere costruita per un ampio intervallo di frequenza, sufficiente ai fini della caratterizzazione del sito fino alla profondità voluta.

6.1.10.3.2 Metodologia MASW a distanza intergeofonica fissa

La prova si eseguirà secondo la procedura descritta di seguito:

- Sulla verticale da investigare si dispone una serie di almeno 24 geofoni in linea, variabile fino a 48 (secondo quanto richiesto dalla società), a frequenza propria di 4.5 Hz, ad una distanza intergeofonica X opportunamente prefissata e calibrata; va ricordato che il campionamento spaziale deve consentire di stimare affidabilmente le lunghezze d'onda di interesse. In particolare la lunghezza dello stendimento di misura non deve essere inferiore alla metà della massima lunghezza d'onda e la distanza intergeofonica (X) deve essere metà della minima lunghezza d'onda.
In via cautelativa si potranno considerare adeguate le seguenti distanze intergeofoniche: $X = 0.1$ m per profondità di indagine prossime a 1 m (pavimentazioni); $X = 1$ m per profondità pari a circa 10 m; $X = 2$ m per profondità pari a circa 30 m; $X = 5-10$ m per profondità pari a circa 100 m;
- si esegue l'energizzazione della sorgente (sorgente DIRECT) posta ad un estremo dell'allineamento (secondo la distanza D con il primo geofono), e la si ripete più volte controllando la qualità dei dati acquisiti; La distanza D tra sorgente e primo geofono sarà scelta e ottimizzata dopo aver eseguito alcune energizzazioni preliminari;
- si sposta la sorgente di energizzazione all'estremo opposto (sorgente INVERSE), sempre secondo una distanza con l'ultimo geofono pari a D , e si ripete nuovamente la serie di energizzazioni.

- Qualora si richieda di indagare più verticali di indagine attigue (al fine di realizzare una sezione interpretativa in termini di onde S), si ripete la procedura di prova dopo aver traslato l'allineamento di geofoni di una o più distanze intergeofoniche X, in asse con lo stendimento precedente. La distanza intergeofonica di ogni nuovo allineamento resterà invariata e uguale alle precedenti.

Per ogni nuovo allineamento si eseguiranno nuove energizzazioni DIRECT/INVERSE, laddove le sorgenti di impatto saranno ubicate alla opportuna distanza D con il primo/ultimo geofono.

6.1.10.4 Elaborazione dei dati

Un volta completata la caratterizzazione in sito della verticale di indagine e definita la curva di dispersione sperimentale tra velocità di fase e lunghezze d'onda, si esegue il processo di inversione, per giungere alla definizione di un modello numerico e della corrispondente curva di dispersione numerica.

Il processo di inversione verrà realizzato con software dedicato, attraverso una procedura iterativa: andrà ipotizzato un profilo stratigrafico verticale di prima ipotesi caratterizzato da determinati spessori di terreno e dati valori del coefficiente di Poisson e della densità. Qualora siano disponibili sezioni stratigrafiche o misure in sito acquisite nelle vicinanze verranno utilizzate come termine di confronto e taratura dei parametri di input.

Il processo di iterazione verrà ripetuto variando opportunamente i parametri di input, e sarà concluso una volta giunti ad un modello che presenti una curva di dispersione numerica assimilabile con buona approssimazione a quella sperimentale. Il profilo di velocità delle onde di taglio Vs così ottenuto, sarà quindi utilizzato per stimare la variazione del modulo di Taglio G0 in funzione della profondità.

Laddove si è proceduto ad eseguire più caratterizzazioni lungo allineamenti attigui (v. MASW) si ripeterà la procedura di inversione per ogni singola verticale indagata, ricostruendo una sezione interpretativa del sottosuolo.

6.1.10.5 Rilievo topografico

Ad integrazione dell'indagine dovrà essere eseguito un rilievo topografico comprendente la determinazione planaltimetrica dello stendimento, riferita a punti notevoli o ad elementi cartografici noti dell'area interessata. Le coordinate del rilievo topografico, dovranno essere inquadrare in un sistema di coordinate generale di progetto fornito dalla Società.

In particolare, per le stese multicanale, saranno determinati le coordinate planaltimetriche assolute del primo (ed eventualmente anche ultimo) geofono dell'allineamento, per il quale verrà restituita una monografia compilata in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.5. Nel caso di più stese contigue e sovrapposte si prenderanno a riferimento il primo e ultimo punto dell'intera serie di allineamenti.

L'ubicazione dei ricevitori intermedi potrà essere eseguita con cordella metrica, livello e stadia. La distanze e le quote relative dei punti intermedi saranno riportate su apposito tabulato.

6.1.10.6 Documentazione

La documentazione di ciascuna indagine dovrà comprendere:

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2;

- caratteristiche prestazionali delle attrezzature impiegate (sismografo, geofoni o accelerometri, software di elaborazione);
- tipo e caratteristiche delle sorgenti di impulso utilizzate;
- configurazione geometrica utilizzata e distanze adottate tra i ricevitori e la sorgente;
- esempi di dati sperimentali grezzi e di elaborazioni intermedie (sismogrammi e spettri f-k o f-v per le prove MASW; fase dello spettro di potenza incrociato e funzioni di coerenza per le prove SASW)
- curva di dispersione sperimentale indicante velocità di fase delle onde di superficie - frequenza;
- curva di dispersione teorica;
- indicazione della schematizzazione verticale del terreno utilizzata al termine del processo di inversione (spessori, Poisson, densità);
- rappresentazione grafica e tabulare dei valori delle onde di taglio V_s e dei moduli di taglio G_0 in funzione della profondità;
- eventuale sezione interpretativa nel caso siano state indagate diverse verticali, con elaborazione a isolinee o a campi di colore;
- documentazione fotografica del sito di indagine strumentato.

6.1.11 PROVE PER ONDE SUPERFICIALI PASSIVE (SPETTRO f-k, ESAC, SPAC, RE.MI.)

6.1.11.1 Generalità

Sono misurate di siica passiva basate sulla registrazione del rumore ambientale (microtremore), che consiste in vibrazioni del terreno indotte da fenomeni naturali o da attività antropiche (traffico, il rumore derivante da macchinari industriali, ecc.). Le misurazioni sono analoghe alle prove per onde di Rayleigh con sorgente attiva, dalle quali si differenziano per la procedura di acquisizione (mancanza di una sorgente attiva) e di stima della curva di dispersione sperimentale.

Il vantaggio principale delle tecniche passive, rispetto a quelle attive, è costituito dalla possibilità di ottenere informazioni relative alla propagazione di onde a bassa frequenza e quindi di estendere le informazioni estraibili dalla curva di dispersione a profondità elevate. L'integrazione di dati ottenuti con misure attive e passive consente, in linea teorica, di estendere l'intervallo di frequenza in cui è possibile stimare la curva di dispersione e, di conseguenza, di incrementare la profondità d'indagine raggiungibile senza perdere le informazioni di maggior dettaglio sugli strati superficiali.

Esistono diverse tecniche per acquisire ed elaborare i dati di microtremori allo scopo di ottenere una curva di dispersione; esse sono basate sull'analisi dello spettro f-k e sulla correlazione spaziale SPAC e ESAC.

Esistono poi tecniche che prevedono acquisizioni passive con dispositivi monodimensionali note con la sigla RE.MI. (REfraction MIcrotremor)

6.1.11.2 Normative e specifiche di riferimento

L'Impresa dovrà attenersi a quanto di seguito specificato, estratto dalle *Linee Guida per le Indagini Geofisiche* dell'Associazione Nazionale di Geofisica.

6.1.11.3 Caratteristiche delle attrezzature

L'attrezzatura di prova dovrà essere costituita almeno dai seguenti componenti:

- sismografo digitale a 24 canali,
- guadagno del segnale (in ampiezza) e dinamica del convertitore A/D minima a 16 bit,
- possibilità di registrazione di finestre temporali di alcuni minuti,
- 12 geofoni verticali/triassiali (o accelerometri) a frequenza propria uguale o inferiore a 2 Hz. Un numero inferiore di geofoni dovrà essere autorizzato.

6.1.11.4 Modalità esecutive

Il metodo si basa sull'assunzione che il rumore sismico sia costituito prevalentemente da onde superficiali e che sia generato da sorgenti lontane dal sito di misura. Un aspetto di particolare rilevanza è costituito dalla necessità di acquisire i segnali utilizzando una configurazione di prova bidimensionale sul piano campagna. Infatti, non essendo nota a priori la direzione di propagazione (funzione della posizione della sorgente che genera il rumore ambientale), è necessario eseguire una scansione spaziale che consenta di determinare la direzione di propagazione dell'onda dominante e conseguentemente la sua velocità di propagazione. Anche le tecniche di processing dovranno essere in tal senso adeguate.

I ricevitori (geofoni verticali o triassiali a bassa frequenza) saranno disposti secondo direzioni bidimensionali: "L", a "T", a croce o circolari. Le geometrie dotate di un asse di simmetria verticale sono preferibili in quanto dotate della medesima risposta a tutte le possibili direzioni di provenienza del campo d'onde.

È fondamentale considerare le caratteristiche geometriche dell'array di acquisizione. Il campionamento spaziale deve consentire di stimare affidabilmente le lunghezze d'onda di interesse. Le regole del campionamento impongono che si possa stimare affidabilmente una lunghezza d'onda (λ) massima pari a due volte la massima distanza tra ricevitori lungo la direzione di provenienza del segnale (D), mentre la minima distanza intergeofonica (d) deve essere metà della minima lunghezza d'onda misurabile.

Trattandosi di una registrazione di rumore ambientale (quindi ignota e variabile nel tempo) conviene acquisire per il maggior tempo (T) possibile consentito dal sismografo, ed eventualmente ripetere l'acquisizione per due-tre volte.

L'intervallo di campionamento (Δt) condiziona la massima frequenza misurabile. Inoltre, poiché dal punto di vista fisico, le onde di superficie sono sensibili alle proprietà del mezzo in cui si propagano fino a circa $\lambda/2.5 - \lambda/3$ la lunghezza D deve essere definita anche in funzione della profondità d'indagine desiderata. Ad esempio, se si dispone di un array circolare del diametro di 100m, si potrà stimare affidabilmente una λ di 200m con una profondità di indagine di circa 80m. Ovviamente, trattandosi di misure passive, occorre che la componente in frequenza con quella lunghezza d'onda sia contenuta nel rumore ambientale. Ipotizzando che questa viaggi in un mezzo con velocità di fase di 1000 m/s, corrispondente ad una frequenza di 5 Hz, tale frequenza dovrà essere una componente del rumore ambientale.

Nell'ambito dei metodi di simica passiva esistono diversi protocolli sperimentali, descritti di seguito

6.1.11.4.1 Tecniche basate sullo spettro f-k

I metodi basati sullo spettro f-k consentono la stima dello spettro secondo numeri d'onda in direzione qualsiasi nello spazio bidimensionale del piano campagna. Per ogni frequenza è quindi possibile ottenere uno spettro bidimensionale in dominio di numero d'onda (k_x e k_y) e individuare in tale spettro i massimi di energia. La posizione del massimo spettrale a ciascuna frequenza consente la stima della direzione di arrivo dell'onda e della sua velocità, infatti, il numero d'onda associato all'onda dominante è dato dalla distanza tra il picco e l'origine degli assi.

L'analisi viene ripetuta per diverse frequenze in modo da poter stimare la velocità di fase su un intervallo di frequenze sufficientemente ampio. Tale approccio consente quindi di estrarre i punti della curva di dispersione alle diverse frequenze superando il problema dell'impossibilità di conoscere le sorgenti che hanno generato il rumore misurato.

Di norma, le acquisizioni durano alcuni minuti ma, in fase di elaborazione, i sismogrammi possono essere frazionati in sotto-finestre di durata più limitata. Per ogni sottofinestra viene condotta la procedura di elaborazione precedentemente descritta e i risultati (velocità di fase ad ogni frequenza) ottenuti dall'elaborazione delle diverse sotto-finestre temporali possono essere trattati statisticamente per ottenere una curva di dispersione media e le incertezze ad essa associate.

6.1.11.4.2 I metodi SPAC ed ESAC

Sono basati sull'autocorrelazione spaziale per la stima delle curve di dispersione. Per una particolare frequenza, la velocità di fase è uguale a quella che fa sì che l'autocorrelazione spaziale stimata descriva meglio la funzione di Bessel del primo ordine. Dal punto di vista pratico, la stima avviene confrontando queste quantità su ampi intervalli di frequenza e velocità. La curva di dispersione è rappresentata dai valori di velocità e frequenza in cui il confronto presenta il minor

MSQX-MSD-Rev0

La sola edizione controllata del documento è quella diffusa attraverso la rete informatica.

Tutte le copie disponibili su carta o su qualsiasi altro supporto, escluso l'originale, non sono soggette a controllo e il loro stato di aggiornamento deve essere verificato prima dell'uso.

scarto. I metodi basati sull'autocorrelazione spaziale si fondano sull'ipotesi di omnidirezionalità del rumore. Dal processing si ottiene dunque una curva di dispersione del tutto simile a quella che si ricava dall'interpretazione dei dati delle indagini sismiche con onde superficiali col metodo attivo che però riguarda di norma le basse frequenze.

6.1.11.4.3 IL metodo RE.MI (refraction Microtremor)

Il termine Refraction Microtremor deriva dalla possibilità di utilizzare stendimenti lineari, normalmente utilizzati in indagini di sismica a rifrazione in onde P.

E' una tecnica poco raccomandata, che andrebbe sempre associata a misure attive.

Trattandosi di una tecnica passiva, quindi pensata per estendere la stima delle curve di dispersione a una frequenza più bassa, dovrebbe essere impiegata utilizzando sensori a frequenza propria inferiore o uguale a 4.5 Hz ed andrebbero adottati tempi di acquisizione lunghi con registrazioni ripetute (maggior tempo possibile consentito dal sismografo).

Tale tecnica risulta più soggettiva rispetto alle misure attive e alle misure passive con array bidimensionali. Inoltre fornisce risultati errati qualora il rumore provenga da una direzione preferenziale: è assolutamente necessario soddisfare la condizione di "omnidirezionalità" delle sorgenti, cioè supporre che il rumore ambientale provenga sostanzialmente da tutte le direzioni. Tale assunzione è raramente verificata nella realtà.

6.1.11.5 Elaborazione dei dati

L'elaborazione dei dati avviene tramite un processo di inversione.

La curva di dispersione sperimentale (eventualmente costituita da più modi e combinata con le curve stimate utilizzando prove superficiali attive), viene utilizzata per un processo di inversione che fornisce come risultato finale il profilo verticale di VS.

La risoluzione del problema inverso implica la parametrizzazione del modello di sottosuolo assunto, che viene di norma schematizzato come un mezzo elastico a strati piano-paralleli, omogenei e isotropi, nel quale l'eterogeneità è rappresentata dalla differenziazione delle caratteristiche meccaniche degli strati. I parametri di modello sono VS, spessore e densità di ogni strato. I parametri incogniti dell'inversione sono VS ed eventualmente lo spessore degli strati, mentre la densità è assunta a priori.

Il processo di inversione è iterativo: a partire da un profilo di primo tentativo, costruito sulla base di metodi semplificati, ed eventualmente delle informazioni note a priori riguardo la stratigrafia, il problema diretto (simulazione della curva di dispersione teorica) viene risolto diverse volte variando i parametri incogniti di modello in modo da minimizzare lo scarto fra il set di dati sperimentali (curva di dispersione misurata) e il set di dati calcolati (curva di dispersione simulata). Il processo termina quando viene individuato un insieme di parametri di modello che renda lo scarto accettabile.

Il numero dei parametri di modello deve essere scelto come il minimo in grado di descrivere la curva di dispersione sperimentale (solitamente 2-3-4 strati). Una sovrapparametrizzazione rischia di ridurre la risoluzione dei singoli parametri dovuta a problemi di equivalenza.

In particolare, qualora si invertano solo curve di dispersione ottenute da prove passive, quindi povere in contenuto di alte frequenze, è bene non sovrapparametrizzare la parte più superficiale del profilo, in quanto la presenza di molti strati li renderebbe irrisolti..

6.1.11.6 Rilievo topografico

Ad integrazione dell'indagine dovrà essere eseguito un rilievo topografico comprendente la determinazione planoaltimetrica dello stendimento, riferita a punti notevoli o ad elementi cartografici noti dell'area interessata. Le coordinate del rilievo topografico, dovranno essere inquadrare in un sistema di coordinate generale di progetto fornito dalla Società.

In particolare, per le stese multicanale, saranno determinati le coordinate planoaltimetriche assolute del primo (ed eventualmente anche ultimo) geofono dell'allineamento, per il quale verrà restituita una monografia compilata in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.5. Nel caso di più stese contigue e sovrapposte si prenderanno a riferimento il primo e ultimo punto dell'intera serie di allineamenti.

L'ubicazione dei ricevitori intermedi potrà essere eseguita con cordella metrica, livello e stadia. La distanze e le quote relative dei punti intermedi saranno riportate su apposito tabulato.

6.1.11.7 Documentazione

La documentazione di ciascuna indagine dovrà comprendere:

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2;
- sismogrammi originali su supporto informatico;
- in caso di array di misura bidimensionali, immagini dello spettro tridimensionale (f-kxKy) con evidenziati i massimi spettrali;
- in caso di prove RE.MI., immagini dello spettro bidimensionale (f-k, w-p, f-v) con evidenziati i punti individuati per la stima della curva di dispersione e considerazioni sull'attendibilità della prova (confronto con dati attivi);
- confronto tra la curva stimata e quella sintetica generata a partire dal modello finale di VS;
- confronto tra il profilo di VS di primo tentativo e quello finale del processo di inversione;
- tabelle con i parametri calcolati e parametri assunti a priori (spessore degli strati, VS e densità)
- documentazione fotografica del sito di indagine strumentato.

6.1.12 PROSPEZIONE SISMICA PASSIVA DI SUPERFICIE HVSR

6.1.12.1 Generalità

La metodologia, chiamata anche tecnica Nakamura (1989), si basa essenzialmente sul rapporto spettrale H/V di rumore ambientale (seismic noise) e permette di valutare gli effetti locali di sito.

La tecnica proposta da Nakamura assume che i microtremori (il cosiddetto rumore di fondo registrabile in qualunque momento posizionando un sensore sismico sul terreno) consistano principalmente di un tipo di onde superficiali, di Rayleigh, che si propagano in un singolo strato sovrastante su semispazio e che la presenza di questo strato sia la causa dell'amplificazione al sito.

La misura prevede la registrazione, senza utilizzo di alcun strumento di energizzazione del terreno, del microtremore sismico ambientale nel dominio del tempo, sulle tre componenti dello spazio attraverso il posizionamento di adeguati strumenti sismometrici costituiti da sensori tridimensionali.

Per gli scopi e finalità dell'indagine le misure HVSR offrono la possibilità di determinare:

- la valutazione dell'omogeneità del sito rispetto alle frequenze di risonanza;
- gli spessori della coltre di copertura.

6.1.12.2 Normative e specifiche di riferimento

- Nakamura, Y. (1989). A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface, Quarterly Report of RTRI, 30:1, 25-33
- Albarello D., Castellaro S., 2011: Tecniche sismiche passive. Indagini a stazione singola. Suppl. Magazine Ingegneria sismica. Year XXVII, n° 2 (in Italian)
- SESAME Project (2004) - Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations. Measurements, processing and interpretation, WP12, deliverable no. D23.12, http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr/Papers/HV_User_Guidelines.pdf.

L'Impresa dovrà in ogni caso attenersi a quanto di seguito specificato.

6.1.12.3 Caratteristiche delle attrezzature

- trasduttori tricomponenti (N-S, E-W, verticale) a bassa frequenza (< 1-2 Hz);
- amplificatori;
- digitalizzatore;
- frequenza di campionamento: > 50 Hz;
- convertitore A/D (analogico digitale) a 24 bit;
- durata registrazione: >20 minuti;
- collegamento al tempo GPS per la referenziazione temporale.

6.1.12.4 Modalità esecutive

Durante l'installazione lo strumento di misura dovrà essere orientato secondo le direzioni geografiche (E e W) e dovrà essere dotato di bolla sferica per il posizionamento, mentre

l'accoppiamento con la superficie dovrà essere diretto o assicurato con piedini o puntazze in terreni morbidi.

Bisognerà altresì fare attenzione alla presenza di radici, sottoservizi, vicinanza edifici, vento ecc., in quanto creano disturbo nel segnale H/V inducendo una forte perturbazione a bassa frequenza.

La società potrà richiedere di ripetere fino a tre misure per ogni sito, ognuna di almeno 20 minuti, anche con differenti larghezze delle finestre di analisi (20 – 50 s), eventualmente in tempi diversi durante la giornata, da cui derivare il valore di frequenza di risonanza.

6.1.12.5 Elaborazione dei dati

L'elaborazione dei dati deve avvenire tramite un software in grado di consentire la determinazione delle frequenze di risonanza del sottosuolo mediante la tecnica dei rapporti spettrali secondo le linee guida del progetto europeo.

Il processing dei dati verte sul rapporto spettrale tra il segnale del sensore verticale e quelli orizzontali, operando su finestre di selezione del segnale che dovranno essere non meno di 10 per un segnale complessivo utile non inferiore a 200-400 secondi.

I principali passi del processing sono i seguenti:

1. FFT (incluso il tapering);
2. operatore di smoothing (Konno & Ohmachi);
3. merging dei componenti orizzontali;
4. H/V Spectral Ratio per ogni finestra utilizzata (>10);
5. media degli spettri H/V;
6. valutazione della deviazione standard.

Le risultanze dell'elaborazione sono presentate mediante graficazione dei rapporti spettrali H/V delle varie componenti indicando il massimo del rapporto HVSR nel valore di f_0 – Frequenza/e di risonanza, e la sua deviazione standard.

Nella restituzione delle risultanze dovranno essere valutate le condizioni di affidabilità, sia nei riguardi della valutazione complessiva delle curva H/V (superamento delle condizioni richieste in *Curve Reliability Criteria*), sia per la presenza o meno di picchi chiari e significativi nell'intervallo di interesse ingegneristico (superamento delle condizioni richieste in *HVSR peak clarity criteria - Overall criteria fulfillment*).

La curva H/V verrà quindi classificata nelle Classi A - B - C e Tipo 1 - 2, in accordo alle indicazioni SESAME (2004).

6.1.12.6 Documentazione

La documentazione di ciascuna indagine dovrà comprendere:

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2;
- criteri di attendibilità della misura e criteri di validità del picco di f_0 ;
- valori di soglia delle condizioni di stabilità;
- indicazione della frequenza di campionamento, della durata, e degli spettri di risposta dei 3 canali N, E, V

- rappresentazioni grafiche in scala semilogaritmica del segnale H/V vs Frequenza e della Media dello Spettro del Segnale vs Frequenza, per ognuna delle tre componenti N-S, E-W, e Z.
- l'analisi dei criteri, in particolare con verifica rispetto alla frequenza del sensore ed alla presenza di rumore di origine industriale;
- l'interpretazione di f_0 e dello spettro H/V nei termini di caratteristiche del sito.
- documentazione fotografica del sito di indagine strumentato.

6.2 PROSPEZIONI ELETTRICHE

6.2.1 SONDAGGIO ELETTRICO VERTICALE (SEV)

6.2.1.1 Generalità

Questa indagine geoelettrica consiste nell'immettere una corrente continua nel terreno tramite due elettrodi A e B (AB = dipolo di corrente o di intensità) e nel misurare la caduta di potenziale, dovuta alla resistenza del terreno al passaggio della corrente elettrica, in corrispondenza di due elettrodi M ed N (MN = dipolo di misura o di potenziale). Attraverso la determinazione della resistività del terreno, l'indagine consente di ricostruire indirettamente il profilo litostratigrafico del terreno.

Gli elettrodi saranno allineati (M ed N in posizione interna, A e B esterni) e simmetricamente disposti rispetto ad un centro.

Nella configurazione Schlumberger, gli elettrodi di tensione M ed N dovranno essere mantenuti ad una distanza fissa, mentre gli elettrodi di corrente A e B dovranno essere allontanati progressivamente di una certa distanza dal centro geometrico dello stendimento.

Nella configurazione Wenner, i quattro elettrodi dovranno essere tra loro equidistanti; dopo ogni misura, l'equidistanza verrà aumentata.

Nella configurazione dipolo-dipolo gli elettrodi dovranno costituire due coppie separate (AB ed MN) che verranno reciprocamente allontanate tra loro.

6.2.1.2 Caratteristiche delle attrezzature

L'attrezzatura di prova dovrà essere costituita dai seguenti componenti:

- georesistivimetro con millivoltmetro (sensibilità massima 0.1 mV), circuito di azzeramento dei potenziali spontanei e milliamperometro con scala 1 mA - 2 A (sensibilità 0.1 mA);
- generatore di potenza sufficiente all'indagine;
- batteria di energizzazione con pile a secco;
- cavi elettrici ad alto isolamento montati su rulli spalleggiabili;
- elettrodi di corrente in acciaio;
- elettrodi di tensione impolarizzabili, in rame o ceramica;
- apparecchi di ricetrasmisione;
- cavi di collegamento ed accessori.

6.2.1.3 Modalità esecutive

Le esatte modalità di configurazione in fase di prova saranno in ogni caso preventivamente concordate con la Società.

In caso di acqua di falda affiorante o subaffiorante, se ne preleveranno alcuni campioni per la definizione in sito della conducibilità. Prima di ogni misura dovrà inoltre essere verificato il valore della resistenza di contatto con il terreno per gli elettrodi AB; si verificherà anche l'eventuale dispersione dei cavi, misurata applicando tensione agli stessi a circuito aperto.

Il valore della differenza di potenziale tra gli elettrodi MN prima della prova dovrà essere verificato e dovrà risultare pari a zero.

6.2.1.4 Documentazione

La documentazione di ciascuna indagine dovrà comprendere:

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2.
- cartografia di base in scala adeguata con ubicazione delle prove eseguite e dei centri di misura, con indicazione degli azimuth e della quota dei centri di misura;
- tabulazione dei valori di resistività apparente misurati;
- curve di resistività apparente in grafici bilogarithmici;
- copia di tutti i dati raccolti in campagna;
- relazione riassuntiva con descrizione dettagliata delle attrezzature impiegate, delle modalità operative, dei metodi di interpretazione e comprensiva della resistività elettrica alle diverse profondità e delle unità elettrostratigrafiche evidenziate.

6.2.2 TOMOGRAFIA ELETTRICA

6.2.2.1 Generalità

Questo tipo di indagine, che può essere eseguita con diverse configurazioni (Wenner, dipolo-dipolo o Schlumberger), può essere realizzata con un set di elettrodi (a partire da un minimo di 16 fino a 64 elettrodi), distribuiti lungo un profilo a distanza variabile (generalmente da uno a cinque metri). Gli elettrodi sono collegati tra loro in modo da poter funzionare alternativamente come elettrodi di corrente o di misura.

L'indagine permette di ricavare valori di resistività apparente a differenti profondità e ubicazioni lungo il profilo di prova. Può essere utilizzata per redigere le mappe di iso-resistività, per individuare superfici stratigrafiche, cavità sotterranee o la profondità di un acquifero. L'indagine può essere eventualmente abbinata all'indagine con georadar (di cui al capitolo corrispondente) ed utilizzarsi con successo nella definizione della geometria e dello spessore di strutture sepolte a piccola profondità (come ad es. plinti di fondazione).

6.2.2.2 Caratteristiche delle attrezzature

L'attrezzatura di prova dovrà essere costituita dai seguenti componenti:

- georesistivimetro con millivoltmetro (sensibilità massima 0.1 mV), circuito di azzeramento dei potenziali spontanei e milliamperometro con scala 1 mA - 2 A (sensibilità 0.1 mA);
- generatore con almeno 1.5 kW di potenza (uscita 500 V);
- cavi elettrici di collegamento a 25 conduttori;
- almeno 48 elettrodi di corrente in acciaio;
- elettrodi di tensione impolarizzabili, in rame o ceramica;
- cavi di collegamento vari ed accessori.

6.2.2.3 Modalità esecutive

Le esatte modalità di configurazione in fase di prova saranno preventivamente concordati con la Società.

In ogni caso la tomografia elettrica potrà essere eseguita con una configurazione Wenner, dipolo-dipolo o Schlumberger, ma dovranno essere utilizzati non meno di 48 elettrodi con un passo di misura variabile da 1 m a 5 m, fino a un massimo di 10 m. La profondità di esplorazione è variabile a seconda del dispositivo e della risoluzione, da un minimo di 5 m a un massimo di 60 m; (la profondità d'esplorazione può ritenersi mediamente pari a 1/6 della lunghezza totale dello stendimento).

Per l'interpretazione dei risultati dovranno essere utilizzati software tipo Resixip2di e Resixi2di o similari, ad elementi finiti e con inversione del modello.

Al fine di consentire un controllo della bontà dell'interpretazione, oltre alle resistività sintetiche dovranno essere restituite anche le resistività di campagna; dovrà essere riportato inoltre il fitting proprio dell'inversione del modello.

6.2.2.4 Rilievo topografico della stesa di prospezione geotomografica

Ad integrazione dell'indagine dovrà essere eseguito un rilievo topografico comprendente la determinazione planoaltimetrica dello stendimento, riferita a punti notevoli o ad elementi cartografici noti dell'area interessata. Le coordinate del rilievo topografico, dovranno essere inquadrare in un sistema di coordinate generale di progetto fornito dalla Società.

In particolare, per ogni stesa rettilinea saranno determinati le coordinate planoaltimetriche assolute del primo (ed eventualmente anche ultimo) elettrodo dell'allineamento, per il quale verrà restituita una monografia compilata in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.5. . Nel caso di più stese affiancate e contigue si prenderanno a riferimento il primo e ultimo punto dell'intero allineamento.

L'ubicazione degli elettrodi intermedi potrà essere eseguita con attrezzatura celerimetrica (teodolite) o mediante cordella metrica, livello e stadia. Le distanze e le quote relative dei punti intermedi saranno riportate su apposito tabulato.

6.2.2.5 Documentazione

La documentazione di ciascuna indagine dovrà comprendere:

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2.
- cartografia di base in scala adeguata con ubicazione delle prove eseguite e dei centri di misura, con indicazione degli azimuth e della quota dei centri di misura;
- tabulazione dei valori di resistività apparente misurati;
- copia di tutti i dati raccolti in campagna;
- elaborazione tomografica a isolinee o a campiture di colore dei valori di resistività;
- relazione riassuntiva con descrizione dettagliata delle attrezzature impiegate, delle modalità operative e dei metodi di interpretazione.

6.2.3 PROFILO DI RESISTIVITÀ

6.2.3.1 Generalità

Il profilo di resistività si basa sugli stessi principi del sondaggio elettrico verticale. Nel profilo di resistività gli elettrodi verranno disposti secondo lo schema di un quadripolo AMNB costante, progressivamente spostato lungo un allineamento predefinito per la determinazione delle variazioni laterali delle caratteristiche elettriche dei terreni.

6.2.3.2 Caratteristiche delle attrezzature

L'attrezzatura di prova dovrà essere costituita dai seguenti componenti:

- georesistivimetro con millivoltmetro (sensibilità massima 0.1 mV), circuito di azzeramento dei potenziali spontanei e milliamperometro con scala 1 mA - 2 A (sensibilità 0.1 mA);
- generatore di potenza sufficiente all'indagine;
- batteria di energizzazione con pile a secco;
- cavi elettrici ad alto isolamento montati su rulli spalleggiabili;
- elettrodi di corrente in acciaio;
- elettrodi di tensione impolarizzabili, in rame o ceramica;
- apparecchi di ricetrasmisione;
- cavi di collegamento ed accessori.

6.2.3.3 Modalità esecutive

L'esatta configurazione del quadripolo sarà funzione della profondità che dovrà essere esplorata e sarà preventivamente concordata con la Società, insieme alla frequenza con cui eseguire le misure.

6.2.3.4 Documentazione

La documentazione di ciascuna indagine dovrà comprendere:

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2.
- cartografia di base in scala adeguata con ubicazione delle prove eseguite e dei centri di misura, con indicazione degli azimuth e della quota dei centri di misura;
- tabulazione dei valori di resistività apparente misurati;
- curve di resistività apparente in grafici bilogaritmici;
- copia di tutti i dati raccolti in campagna;
- relazione riassuntiva con descrizione dettagliata delle attrezzature impiegate, delle modalità operative, dei metodi di interpretazione e comprensiva della resistività elettrica alle diverse profondità e delle unità elettrostratigrafiche evidenziate.

6.3 PROSPEZIONI CON GEORADAR

6.3.1 PROSPEZIONE CON GEORADAR DALLA SUPERFICIE O IN GALLERIA

6.3.1.1 Generalità

L'indagine con georadar consente di individuare strutture o cavità sepolte a piccola profondità attraverso la trasmissione dalla superficie, mediante opportune antenne, di un segnale elettromagnetico di tipo radar e la registrazione degli echi di ritorno in un determinato periodo di tempo; il segnale riflesso è funzione della costante dielettrica dei mezzi indagati.

Questo tipo di indagine può essere utilizzato con successo per il rilievo di sottoservizi, o per il rilievo di oggetti sepolti ad alcuni m dalla superficie.

L'indagine georadar può anche essere utilizzata in galleria, per determinare lo spessore del rivestimento in galleria ed eventuali lesioni o difetti nel getto dello stesso.

Il metodo è infine applicabile anche per le opere in calcestruzzo (plinti di fondazione, muri, ecc), per la determinazione di eventuali lesioni e/o degrado del cls nella porzione superficiale (20 cm ca.) e la posizione dei ferri di armatura. Per la eventuale definizione della geometria di plinti di fondazione, bisogna comunque tener presente che la metodologia descritta nel seguito consente l'individuazione delle geometrie superiori del plinto, non essendovi la certezza che l'intensità dei segnali trasmessi, anche se potenziati, sia tale da permettere ulteriori riflessioni dalla base del plinto; in altri termini l'indagine radar non sempre consente, dalla superficie, di ottenere riflessioni discriminabili in termini di riflessioni primarie e secondarie al variare della profondità. Per poter quindi determinare dalla superficie lo spessore dell'"oggetto" plinto occorre abbinare all'indagine radar un diverso tipo di rilevamento, ovvero quello con tomografia elettrica di cui al capitolo corrispondente, l'unico in grado di mantenere, per profondità non superiori, in questo caso, a 10 m da p.c., risoluzioni apprezzabili del variare della resistività del semispazio indagato.

6.3.1.2 Caratteristiche delle attrezzature

L'attrezzatura di prova dovrà essere costituita dai seguenti componenti:

- unità radar di acquisizione, con risoluzione di 16 bit, possibilità di collegamento encoder distanze, e possibilità di inserimento di marker manuali; l'unità dovrà essere dotata di una memoria di massa di adeguate dimensioni e sistema di trasferimento dati; dovrà inoltre essere collegata ad un computer dotato di monitor a colori e stampante a colori; all'occorrenza (in particolare per l'individuazione di plinti) l'unità dovrà essere in grado di operare con almeno due canali ed essere dotata di funzione "stack";
- set di antenne bistatiche, T (trasmittenti) ed R (riceventi), dotate di amplificatore di potenza e con frequenza variabile in relazione alla finalità dell'indagine:
 - da un minimo di 100 MHz sino ad un massimo di 1500 MHz per rilievi alla superficie;
 - da un minimo di 400 MHz ad un massimo di 900 Hz per rilievi in galleria
 - da un minimo di 900 MHz ad un massimo di 1500 Hz per le opere in calcestruzzo;
- cavo schermato di collegamento tra l'unità di acquisizione e l'antenna
- carrello con encoder per la registrazione dei marker di distanza, qualora sia previsto il rilievo su piano stradale.

6.3.1.3 Modalità esecutive

Le esatte modalità di configurazione in fase di prova saranno in ogni caso preventivamente concordate con la Società.

In generale l'intero set di antenne deve essere disponibile in cantiere per poter essere adoperato prontamente in funzione delle esigenze del sito in esame; infatti le condizioni di risposta di un segnale elettromagnetico di tipo radar sono particolarmente condizionate dalla costante dielettrica del mezzo attraversato, risultando quindi molto variabili. In generale comunque ad una maggiore frequenza dell'antenna corrisponde una minore penetrazione nel terreno ma un maggiore dettaglio, mentre ad una minore frequenza sarà utile eseguire alcuni test al fine di poter determinare il miglior setup di acquisizione. In ogni caso sarà utile l'esecuzione di linee in relazione alla possibilità di ottenere informazioni utili per la taratura del segnale (ev. carotaggi, nel caso dei rilievi in galleria o su calcestruzzo).

Le modalità di rilievo potranno essere le seguenti:

- A. rilievo di sottoservizi: rilievo da realizzare secondo allineamenti su maglia quadrata 2m x 2m;
- B. rilievo per la ricerca di oggetti sepolti (v. cisterne, resti archeologici, ecc.): rilievo da realizzare secondo allineamenti su maglia quadrata 1m x 1m;
- C. rilievo in galleria: rilievo di 3 linee longitudinali all'asse galleria (due lungo i piedritti e una in calotta), e rilievo di linee su sezioni trasversali all'asse galleria (una sezione ogni 10m lineari di sviluppo longitudinale di galleria)
- D. rilievo su calcestruzzo armato per la verifica del degrado e della posizione dei ferri di armatura: avviene attraverso la trasmissione, dal piano di intradosso, mediante opportune antenne, di un segnale elettromagnetico di tipo radar e la registrazione degli echi di ritorno in un determinato periodo di tempo; il segnale riflesso è funzione della costante dielettrica dei mezzi indagati. Per individuare lo stato di degrado superficiale del calcestruzzo il rilievo si esegue lungo linee di maglia quadrata 0.5m x 0.5m; per la ricerca dei ferri di armatura il rilievo si esegue su linee di maglia quadrata 0.2m x 0.2m

6.3.1.4 Elaborazione dei dati

L'elaborazione dati dovrà essere eseguita a mezzo di opportuno software e programmi dedicati (quali il WinRad, il Gradix) in grado di permettere all'operatore una buona risoluzione dei segnali e favorirne una agevole interpretazione; in particolare dovranno essere consentite le seguenti operazioni:

- normalizzazione scan-distanze;
- regolazione dei livelli di gain;
- stack orizzontale;
- analisi in frequenza;
- filtraggio dei dati (LP-HP-BP);
- deconvoluzione del segnale;
- migrazione;
- routine di estrazione dei massimi;

- analisi dei riflettori.

6.3.1.5 Rilievo topografico della stesa di indagine

Ad integrazione dell'indagine, quando richiesto, dovrà essere eseguito un rilievo topografico comprendente la determinazione planoaltimetrica dello stendimento, riferita a punti notevoli o ad elementi cartografici noti dell'area interessata. Le coordinate del rilievo topografico, dovranno essere inquadrare in un sistema di coordinate generale di progetto fornito dalla Società.

In particolare, per ogni stesa saranno determinati le coordinate planoaltimetriche assolute del primo (ed eventualmente anche l'ultimo) punto, per il quale verrà restituita una monografia compilata in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.5.

6.3.1.6 Documentazione

La documentazione di ciascuna indagine dovrà comprendere:

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2.
- rilievo topografico della superficie indagata e degli estremi delle strisciate eseguite;
- planimetria in scala adeguata con ubicazione delle strisciate eseguite;
- radargramma di campagna, elaborato a diverse intensità cromatiche, con le distanze (m) in ascisse e i tempi di ascolto (ns) in ordinate (in formato digitale);
- radargramma filtrato e interpretazione in funzione delle costanti dielettriche dei mezzi attraversati, con le distanze (m) in ascisse e le profondità (m) in ordinate (in cartaceo e digitale);
- per i rilievi in galleria, identificazione degli spessori di rivestimento e delle eventuali zone di lesione e/o degrado (vuoti, vespai, etc..);
- per i rilievi di opere in calcestruzzo, identificazione delle posizioni dei ferri di armatura o delle eventuali zone di lesione e/o degrado (vuoti, vespai, etc..)
- relazione riassuntiva con descrizione dettagliata delle attrezzature impiegate, delle modalità operative, dei metodi di interpretazione e dei risultati dell'indagine.

6.4 PROSPEZIONI ELETTROMAGNETICHE

6.4.1 INDAGINE ELETTROMAGNETICA IN DOMINIO DI FREQUENZA

Le indagini elettromagnetiche in dominio di frequenza (FEM) consentono di ottenere, in modo speditivo, profili e mappe dei valori della variazione di fase e dell'intensità del campo elettromagnetico secondario rispetto ai valori del campo primario. Il metodo di prospezione EM considera simultaneamente 3 processi fisici distinti:

- il passaggio di corrente alternata in una bobina trasmittente genera un campo magnetico H_p (campo magnetico primario) variabile con il tempo;
- il flusso del campo magnetico primario genera delle correnti indotte (correnti di Foucault) in tutti i conduttori sui quali esso agisce (suoli, rocce);
- le correnti indotte generano un campo magnetico secondario H_s il quale insieme al campo primario che si propaga direttamente attraverso l'aria provoca il passaggio di corrente alternata in una bobina ricevente.

La conduttività elettrica (inverso della resistività) dei suoli e delle rocce dipendono dalle proprietà elettriche, dimensioni e forma del conduttore, frequenza del campo primario, posizione del conduttore rispetto agli strumenti di indagine geofisica, nonché dal grado di saturazione in acqua, dalla salinità dell'acqua contenuta nei pori della roccia, dalla composizione mineralogica, dalla presenza di metalli o contaminanti organici (benzina, gasolio, nafta, ecc.).

Nelle configurazioni più usuali, descritte di seguito, la profondità media di investigazione si attesta a pochi m (6 - 7 m) dalla superficie del terreno.

6.4.1.1 Caratteristiche delle attrezzature e principi applicativi

Per misurare la conducibilità elettrica apparente del terreno indagato si analizzerà la variazione in ampiezza e fase che un segnale (onda sinusoidale) subisce nell'attraversare mezzi a diversa conduttività.

A tale scopo deve essere utilizzato un conducivimetro multifrequenza che rientra nella categoria delle strumentazioni elettromagnetiche in dominio di frequenza di tipo GCM (ground conductivity meters).

Tali dispositivi elettromagnetici utilizzano due bobine di piccole dimensioni (Small-loop systems), una trasmittente ed una ricevente, affiancate secondo specifiche configurazioni e mantenute ad una distanza costante s (normalmente compresa tra 0,75 m a 2 m). L'acquisizione prevede lo spostamento dello strumento lungo una serie di profili paralleli secondo una geometria prestabilita.

La bobina ricevente registra, tramite un convertitore A/D a 16 bit, il segnale dovuto al campo magnetico indotto; dall'analisi di convoluzione tra il campo magnetico primario ed il secondario viene elaborato il loro rapporto ed espresso in ppm (parti per milione).

E' possibile estrarre la componente in fase e quella in quadratura di fase del campo magnetico indotto: la componente in fase risulta sensibile ad oggetti metallici (fusti sepolti, tubazioni interrate ecc.); la componente in quadratura di fase è proporzionale alla conducibilità del mezzo indagato.

Il valore della conducibilità apparente potrà essere calcolato con la seguente formula:

$$s_a = \text{ppm}(Q) / F \text{ [mS/m]}$$

dove:

- S_a = conducibilità apparente
 $\text{ppm}(Q)$ = componente in quadratura di fase (in parti per milione)
 F [Hz] = frequenza

Le caratteristiche operative minime necessarie della strumentazione di acquisizione sono le seguenti:

- utilizzo simultaneo di più frequenze, in un range compreso tra 330 Hz e 20000 Hz, registrando le componenti in fase ed in quadratura del campo magnetico secondario, normalizzate rispetto al campo magnetico primario;
- bobina trasmittente e ricevente in configurazione bistatica, contenente anche una terza bobina accoppiata bucking coil che rimuove (avendo polarità opposta) il campo magnetico primario registrato alla bobina ricevente, di intensità molto superiore a quello indotto;

6.4.1.2 Modalità esecutive

Le esatte modalità di configurazione in fase di prova saranno preventivamente concordate con la Società.

In linea di principio i dati dovranno essere acquisiti secondo la seguente procedura:

- tracciatura di una griglia di acquisizione (secondo una maglia regolare generalmente quadrata);
- impostazione della configurazione a distanza adeguata tra le bobine trasmittente e ricevnete;
- acquisizione sul primo punto (avente coordinate relative $x=0$, $y=0$), a vertice della griglia di acquisizione: lo strumento esegue la misura, il cui termine viene indicato da un segnale acustico; per ogni singolo punto la misura completa consisterà in una acquisizione multipla (generalmente 2 acquisizioni), con scarto automatico dei dati anomali e media dei dati simili;
- passaggio al punto successivo e ripetizione delle misure secondo quanto sopra indicato.

Al termine dell'acquisizione si avrà come output una matrice di dati in cui le colonne sono le componenti in quadratura, fase e conducibilità apparente per ogni frequenza indicata.

6.4.1.3 Rilievo topografico della stesa di indagine

Ad integrazione dell'indagine dovrà essere eseguito un rilievo topografico comprendente la determinazione planaltimetrica della griglia investigata, riferita a punti notevoli o ad elementi cartografici noti dell'area interessata. Le coordinate del rilievo topografico, dovranno essere inquadrare in un sistema di coordinate generale di progetto fornito dalla Società.

In particolare, per ogni griglia, saranno determinati le coordinate planaltimetriche assolute del primo punto della griglia (ed eventualmente anche dell'ultimo, opposto), per il quale verrà restituita una monografia compilata in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.5.

L'ubicazione dei punti intermedi potrà essere eseguita mediante cordella metrica, livello e stadia. La geometria, le distanze e le quote relative dei punti intermedi saranno riportate su apposito tabulato e stralcio planimetrico.

6.4.1.4 Documentazione

La documentazione di ciascuna indagine dovrà comprendere:

MSQX-MSD-Rev0

La sola edizione controllata del documento è quella diffusa attraverso la rete informatica.

Tutte le copie disponibili su carta o su qualsiasi altro supporto, escluso l'originale, non sono soggette a controllo e il loro stato di aggiornamento deve essere verificato prima dell'uso.

- informazioni generali in accordo a quanto riportato nel capitolo 1.3.2.
- rilievo topografico della superficie indagata/delle maglie eseguite;
- planimetria in scala adeguata con ubicazione delle maglie eseguite;
- planimetria delle conducibilità elettromagnetiche (in fase e in quadratura di fase) elaborate a diverse intensità cromatiche e restituite in opportune scale;
- relazione riassuntiva con descrizione dettagliata delle attrezzature impiegate, delle modalità operative, dei metodi di interpretazione e dei risultati dell'indagine.

7 GESTIONE RISCHI

7.1.1 AREA COGENTE/NORMATIVA

L'adozione della presente istruzione tecnica costituisce evidenza del rispetto delle modalità di esecuzione e di valutazione dei lavori di indagine geotecnica in sito stabilite delle Norme Tecniche di Appalto. Inoltre, costituisce evidenza del rispetto dei seguenti requisiti della norma UNI EN ISO 9001:2015:

- § 8.4 Controllo dei processi, prodotti e servizi forniti dall'esterno;
- § 8.5.1 Controllo della produzione e dell'erogazione dei servizi.

7.1.2 AREA ETICA AZIENDALE

L'adozione della presente istruzione tecnica costituisce evidenza del rispetto dei principi di "Trasparenza e professionalità" (impegno a svolgere i compiti e le responsabilità assegnate in modo diligente, con chiarezza e adeguato alla natura degli stessi) enunciati nel Codice Etico.

7.1.3 AREA OPERATIVA

L'adozione della presente procedura attenua o mitiga i seguenti rischi:

- produzione di elaborati progettuali (di tipo funzionale, tecnico, ambientale, economico) difforni dalle specifiche tecniche, contenute nell'incarico di progettazione.