FERROVIENORD

P.LE CADORNA, 14
20123 MILANO
www.ferrovienord.it
C.F. E P.I.: 06757900151

Oggetto:

Servizio per l'esecuzione di prove geotecniche, sondaggi geognostici, prove/analisi di laboratorio e diagnostica strutturale

CAPITOLATO TECNICO

Codice Commessa:
Tratta: Impianto:

Impresa Appaltatrice:

Progettista:

	Rev.	Data	Descrizione	Redatto	Controllato	Autorizzato
AGGIORNAMENTI	E	-	-			
	D	-	-			
	C	-	-			
	B	-	-			
	A	-	-			
	0	10/02/2016	PRIMA EMISSIONE	Corengia Culatti	Corengia Culatti	Riva

TIPOLOGIA	TRATTA	Impianto INIZIALE	Impianto FINALE	REPARTO	CATEGORIA	N° progressivo dell' elaborato	N° elaborato finale	SCALA
REL	--	--	--	---	--	002	003	1:XXX

PERCORSO FILE: .....

1 PRESCRIZIONI DI CARATTERE GENERALE 3
1.1. PREMESSA 3
1.2. DIREZIONE DEL CANTIERE 3
1.3. DOCUMENTAZIONE DELLE INDAGINI 3
1.4. CONSEGNA DEI CAMPIONI 3
1.5. CONSERVAZIONE DELLE CASSETTE CATALOGATRICI 3
1.6. UBICAZIONE E QUOTA 3
1.7. INDAGINI IN PRESENZA D'ACQUA 4
1.8. PISTE E PIAZZOLE 4
1.9. ONERI DIVERSI 5
2 INDAGINI E PROVE GEOTECNICHE IN SITO 5
2.1 SONDAGGIO GEOTECNICO 5
2.2 PERFORAZIONE A ROTAZIONE A DISTRUZIONE DI NUCLEO 15
2.3 CAMPIONAMENTO GEOTECNICO NEI SONDAGGI 16
2.4 PROVE GEOTECNICHE IN FORO DI SONDAGGIO 18
2.4.1 STANDARD PENETRATION TEST (SPT) 18
2.4.2 PROVA SCISSOMETRICA (VANE TEST) 20
2.4.3 PROVE DI PERMEABILITÀ TIPO LEFRANC 22
2.5 PROVE PENETROMETRICHE CONTINUE 25
2.5.1 PROVA PENETROMETRICA DINAMICA CONTINUA DPSH 25
3 INDAGINI E PROVE GEOMECCANICHE IN SITO 28
3.1 SONDAGGIO GEOMECCANICO 28
3.1.1 DESCRIZIONE GEOMECCANICA DELLE CAROTE DI SONDAGGIO 28
4 MONITORAGGI 30
4.1 INSTALLAZIONE DI STRUMENTAZIONE 30
4.1.1 PIEZOMETRO A TUBO APERTO 30
4.1.2 TUBO INCLINOMETRICO 32
4.2 LETTURE E RILIEVI STRUMENTALI 36
4.2.1 MISURA IN PIEZOMETRO A TUBO APERTO 36
4.2.2 MISURA INCLINOMETRICA 37
5 INDAGINI GEOFISICHE 39
5.1 PROSPEZIONI SISMICHE 39
5.1.1 INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE AD ONDE DI COMPRESSIONE (ONDE P) 39
5.1.2 INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE AD ONDE DI TAGLIO (ONDE S) 40
5.1.3 ANALISI DELLA ATTENUAZIONE ANELASTICA E DETERMINAZIONE DEL FATTORE QUALITÀ 42

5.1.4 PROVA SISMICA PASSIVA 43
6 PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO 45
6.1 GENERALITÀ 45
6.2 DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE FISICHE (PROVE DI IDENTIFICAZIONE) 49
6.2.1 APERTURA E DESCRIZIONE GEOTECNICA DI CAMPIONI INDISTURBATI 49
6.2.2 APERTURA E DESCRIZIONE GEOTECNICA DI CAMPIONI RIMANEGGIATI 49
6.2.3 DETERMINAZIONE DEL CONTENUTO NATURALE D'ACQUA 50
6.2.4 DETERMINAZIONE DELLA MASSA VOLUMICA APPARENTE (PESO DI VOLUME NATURALE) 51
6.2.5 DETERMINAZIONE DEI LIMITI DI CONSISTENZA 52
6.2.6 DETERMINAZIONE DEL LIMITE DI RITIRO 53
6.2.7 ANALISI GRANULOMETRICA PER VAGLIATURA 54
6.2.8 DETERMINAZIONE DEL PASSANTE O TRATTENUTO AD UN SINGOLO VAGLIO 56
6.2.9 ANALISI GRANULOMETRICA PER SEDIMENTAZIONE 57
6.2.10 DETERMINAZIONE DELLA MASSA VOLUMICA REALE (PESO SPECIFICO DEI GRANI) 58
6.3 DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE FISICO-MECCANICHE 59
6.3.1 PROVE EDOMETRICHE 59
6.3.2 PROVA DI TAGLIO CON SCISSOMETRO DA LABORATORIO 62
6.3.3 PROVA DI COMPRESSIONE MONOASSIALE AD ESPANSIONE LATERALE LIBERA 63
6.3.4 PROVA DI COMPRESSIONE TRIASSIALE NON CONSOLIDATA - NON DRENATA (UU) 64
6.3.5 PROVA DI COMPRESSIONE TRIASSIALE CONSOLIDATA ISOTROPICAMENTE - NON DRENATA (CIU) 65
6.3.6 PROVA DI COMPRESSIONE TRIASSIALE CONSOLIDATA ISOTROPICAMENTE - DRENATA (CID) 67
6.3.7 PROVA DI TAGLIO DIRETTO CONSOLIDATA - DRENATA 69
7 PROVE SUI MANUFATTI 71
7.1 INDAGINI CON MARTINETTO PIATTO SINGOLO – MURATURA 71
7.2 INDAGINI CON MARTINETTO PIATTO DOPPIO – MURATURA 73
7.3 MISURA DELLO STATO DI TENSIONE TRAMITE ESTENSIMETRI 75
7.4 PROVE DI CARICO PONTI IN MURATURA, C.A. E C.A.P 76
7.5 PROVE DI CARATTERIZZAZIONE DINAMICA DELLE STRUTTURE 78

1 PRESCRIZIONI DI CARATTERE GENERALE

1.1. PREMESSA

Gli interventi consisteranno nell'esecuzione di prove geotecniche, sondaggi geognostici, relative prove/analisi di laboratorio e prove di diagnostica strutturale su manufatti da svolgersi in siti definiti dalla Committente.

I lavori di indagine geotecnica e le prove di diagnostica strutturale dovranno essere realizzati dall'Impresa con personale, modalità operative ed attrezzature conformi alle prescrizioni del presente Capitolato Tecnico, senza apportare variazioni che non siano state preventivamente concordate ed approvate dalla Direzione Lavori.

1.2. DIREZIONE DEL CANTIERE

L'Impresa dovrà assicurare per i lavori di indagine geotecnica la presenza a tempo pieno in cantiere di 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 Direzione Lavori nonché della fornitura di eventuali documenti integrativi che potrebbero servire alla definizione particolareggiata delle attrezzature e delle modalità esecutive.

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 Direzione Lavori quando richiesta e comunque a fine lavoro. La documentazione in forma definitiva sarà presentata non oltre 20 giorni solari dal completamento dei lavori, salvo diversa prescrizione.

1.4. 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 Direzione Lavori.

La consegna dei campioni dovrà essere effettuata mediante distinta di accompagnamento trasmessa per conoscenza alla Direzione Lavori.

1.5. CONSERVAZIONE DELLE CASSETTE CATALOGATRICI

Le cassette catalogatrici con le carote saranno conservate al riparo dagli agenti atmosferici in luoghi da concordare con la Direzione Lavori.

1.6. UBICAZIONE E QUOTA

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 Direzione Lavori.
La quota di ciascun punto di indagine sarà definita rispetto al livello medio marino o al riferimento locale fornito dalla Direzione Lavori.
Le tolleranze planoaltimetriche dovranno essere contenute nel limite massimo di ± 5 cm.
Ogni punto di indagine, qualora non sia sede di strumentazione in sito, dovrà essere materializzato sul terreno con un picchetto recante la sigla e la data di esecuzione dell'indagine.
I risultati del rilievo topografico del punto di indagine dovranno essere raccolti in una apposita scheda monografica comprendente:

- sigla del punto di indagine;
- caposaldo di riferimento;
- coordinate Gauss-Boaga e Locali;
- quota assoluta;
- stralcio planimetrico in scala adeguata;
- schizzo planimetrico di dettaglio;
- indicazioni per la precisa localizzazione in sito;
- documentazione fotografica.

1.7. INDAGINI IN PRESENZA D'ACQUA

Per le indagini in presenza di acqua (fiumi, laghi) non sono fornite apposite prescrizioni in quanto le modalità operative di sondaggio, prova, ecc., non variano ed esistono diverse soluzioni per l'appoggio delle attrezzature (pontoni galleggianti, piattaforme a gambe fisse, piattaforme autosollevanti, ecc.).

1.8. PISTE E PIAZZOLE

Sono così denominate le piste aventi la lunghezza e larghezza minima necessaria, atte a permettere il raggiungimento del punto d'indagine con mezzi a trazione integrale o con mezzi ferroviari messi a disposizione dalla Committenza 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(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 Direzione Lavori in corso d'opera.
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 sue 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.

1.9. ONERI DIVERSI

Nell'esecuzione dei lavori di cui al presente Capitolato Tecnico l'Impresa dovrà altresì tener conto dei seguenti oneri ed adempimenti, compresi e compensati nei prezzi di elenco:

- 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 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.

2 INDAGINI E PROVE GEOTECNICHE IN SITO

2.1 SONDAGGIO GEOTECNICO

GENERALITÀ

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 nell'Ordine di Servizio emesso a carico della Direzione Lavori.

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

ATTREZZATURE DI PERFORAZIONE

Ogni sonda a rotazione (testa idraulica) dovrà possedere i seguenti requisiti minimi:

- velocità di rotazione 0 ÷ 500 rpm
- coppia massima > 400 kgm
- corsa continua > 150 cm
- spinta > 4000 kg
- tiro > 4000 kg
- pressione pompa > 70 bar
- argano a fune e gruppo energetico autonomo presente

La pompa 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.
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.

UTENSILI DI PERFORAZIONE
Si definiscono come utensili di perforazione i seguenti utensili:
- carotiere semplice con valvola in testa a sfera e calice:
  - diametro nominale $Ø_{est}$ = 101÷146 mm;
  - lunghezza utile l = 150÷300 cm;
- carotiere doppio a corona sottile (T2, T6) con estrattore:
  - diametro nominale $Ø_{est}$ > 100 mm;
- carotiere triplo con porta campione interno estraibile ed apribile longitudinalmente (T6S), con estrattore a calice:
  - diametro nominale $Ø_{est}$ > 100 mm;
  - corona di perforazione in widia;
  - corona diamantata;
- aste di perforazione con filettatura tronco-conica:
  - diametro esterno $Ø_{est}$ = 60÷76 mm.

Gli utensili sopra elencati dovranno essere disponibili in sito in tutti i casi in cui siano impiegabili.

UTENSILI DI PULIZIA FONDO FORO
Si definiscono come utensili di pulizia fondo foro i seguenti utensili:
- carotiere semplice, lunghezza = 40÷80 cm;
- attrezzo a fori radiali, da impiegarsi con circolazione di fluido uscente dall'utensile, con inclinazione di 45°÷90° rispetto alla verticale;
- campionatore a pareti grosse, diametro Ø = 100 mm, con cestello di ritenuta alla base, per l'asportazione di eventuali ciottoli.

TUBAZIONI DI RIVESTIMENTO PROVVISORIO
La necessità di impiego del rivestimento provvisorio è da verificarsi caso per caso, in relazione alle reali caratteristiche del terreno.
Nel caso di utilizzo di rivestimenti associati alla perforazione ad aste, essi saranno in acciaio, con le seguenti caratteristiche:
- spessore del tubo s = 8÷10 mm;
- diametro interno $Ø_{int}$ = 107÷162 mm;
- lunghezza spezzoni l = 150÷200 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 Direzione Lavori.

STRUMENTI DI CONTROLLO E PROVA
Devono far parte del corredo permanente della sonda i seguenti strumenti portatili:
- scandaglio a filo graduato, per la misura della quota di fondo foro raggiunta dalla perforazione;
- sondina piezometrica elettrica;
- penetrometro tascabile, con fondo scala > 5 kg/cm^2;
- scissometro tascabile.

MODALITÀ ESECUTIVE
Il sondaggio geotecnico dovrà essere eseguito come di seguito specificato.

a) Carotaggio

Il carotaggio dovrà essere integrale e rappresentativo del terreno attraversato, con percentuale di recupero > 85%.

Il carotaggio dovrà essere eseguito a secco, senza l'ausilio del fluido di perforazione, nel caso in cui venga utilizzato il carotiere semplice.

Nel caso in cui venga utilizzato il carotiere doppio (T2, T6) o triplo (T6S), il carotaggio sarà eseguito usando il fluido di circolazione, con o senza additivi.

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

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

b) Rivestimento provvisorio

La perforazione sarà seguita dal rivestimento provvisorio solo in assenza di sufficiente autosostentamento delle pareti del foro. Le manovre di rivestimento possono essere eseguite con l'uso di fluido in circolazione, curando che la pressione del fluido sia la minore possibile e controllandola mediante manometro. Il disturbo arrecato al terreno deve essere contenuto al minimo, fermando se necessario la scarpa del rivestimento a circa 50 cm dal fondo foro (con l'esclusione del metodo "wire-line") in modo da non investirlo in forma eccessivamente diretta con il getto di fluido in pressione.

c) 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 deve 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 l'estrazione del carotiere e delle fustelle dei campionatori ad infissione conclusa. Devono essere evitati indesiderabili effetti di risucchio che possono anche verificarsi nel caso di brusco sollevamento della batteria di rivestimento, qualora occlusa all'estremità inferiore dal terreno per insufficiente circolazione di fluido durante l'infissione.

d) Pulizia del fondo foro

La quota del fondo foro sarà misurata con scandaglio a filo graduato prima di ogni manovra di campionamento indisturbato, di prova geotecnica SPT o di prova scissometrica.

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

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

e) Campionamento in foro e prove geotecniche

In tutti i casi nei quali non siano prevedibili fenomeni di collasso delle pareti del foro nel tratto non rivestito, il prelievo di campioni in foro o l'esecuzione di prove geotecniche SPT dovranno seguire la manovra di perforazione con carotiere precedendo il rivestimento a fondo foro, il quale sarà eseguito, se necessario, una volta ultimate le prove geotecniche o il campionamento, in modo da evitare che il prelievo o la prova interessino uno strato di terreno disturbato dal getto di fluido.

f) Controllo della lunghezza delle batterie di aste

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.

FLUIDI DI CIRCOLAZIONE

Il fluido di circolazione nelle fasi di perforazione e, qualora consentito, di 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 Direzione Lavori, 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.

RILIEVO STRATIGRAFICO

Il geologo responsabile del cantiere compilerà la stratigrafica del sondaggio, completandola con gli elementi elencati nei punti successivi.

Dati generali e tecnici

Dovranno essere indicati sempre i seguenti dati:

- data di perforazione;
- nome del compilatore;
- metodo di perforazione;
- attrezzature impiegate;
- diametro di perforazione;
- diametro di rivestimento;
- tipo di fluido di circolazione impiegato;
- quota di inizio e fine delle singole manovre;
- quota di testa foro assoluta (m s.l.m.) o relativa e sua ubicazione planimetrica.

Descrizione stratigrafica

La descrizione stratigrafica del sondaggio dovrà essere compilata dal geologo responsabile di cantiere, che dovrà specificare per ogni strato individuato:

a) tipo di terreno (granulometria e grado di arrotondamento dei clasti);
b) condizioni di umidità naturale;
c) compattezza (consistenza o addensamento);
d) R.Q.D. ;
e) alterazione;
f) colore;
g) struttura;
h) particolarità;
i) litologia ed origine.

a) Tipo di terreno

Il compilatore farà riferimento alla tabella che segue:

GRANULOMETRIA

definizione		*diametro dei grani [mm]*	*criteri di identificazione*
blocchi		>200	– visibili ad occhio nudo
ciottoli		60-200	
ghiaia	grossolana media fine	20-60 6-20 2-6	
sabbia	grossolana media fine	0.6-2 0.2-0.6 0.06-0.2	
limo		0.002-0.06	– solo se grossolano è visibile a occhio nudo – poco plastico – dilatante – lievemente granulare al tatto – si disgrega velocemente in acqua – si essicca velocemente – possiede coesione ma può essere polverizzato 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
terreno organico o vegetale			– contiene una rilevante percentuale di sostanze organiche vegetali
torba			– predominano i 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):
- 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:

GRADO DI ARROTONDAMENTO

definizione	*descrizione*
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 ($ø_{max}$) di ghiaia, ciottoli o blocchi e precisare il grado di uniformità della composizione granulometrica.

b) 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.

c) 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

definizione	*resistenza al penetrometro tascabile [kg/cm^2]*	*prove manuali*
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

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

d) 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:

$$RQD = \frac{\Sigma l_i}{l_f} * 100 \qquad [\%]$$

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.
Il valore di RQD dovrà essere determinato per tratti di carota di lunghezza non superiore a quella delle singole manovre, 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.

e) 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

definizione	*descrizione*
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 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.

f) Colore

Nel caso di sondaggi in terreno il colore dovrà essere 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 del nome corrispondente (ad es. 5YR 5/3 bruno-rossastro). Nel caso di terreni grossolani il colore da descrivere è quello della matrice.

Nel caso di sondaggi in roccia si potranno adottare definizioni più generiche, avendo cura però 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.

g) Struttura

Si definiranno gli elementi significativi della struttura di rocce e terreni, indicando con struttura la presenza o assenza di discontinuità, con riferimento a quanto di seguito specificato.

Stratificazione

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

STRATIFICAZIONE

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

spaziatura media [mm]	*descrizione*
> 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.

h) 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.

i) Litologia ed origine
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 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

granulometria clasti costituenti		*definizione*			
		clasti terrigeni		*clasti carbonatici*	
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

tenore in $CaCO_3$ [%]	*descrizione*
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 $CaCO_3$ 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.

Altre registrazioni in corso di perforazione

Oltre alla registrazione della stratigrafia, il geologo responsabile di cantiere annoterà sinteticamente, nella documentazione del lavoro, tutte le osservazioni che riterrà interessanti quali ad esempio:

- percentuale di recupero;
- velocità di avanzamento;
- perdita di fluido di circolazione;
- rifluimenti in colonna;
- manovre di campionamento o prove non condotte a termine.

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.

Tali informazioni dovranno comparire anche nella documentazione definitiva del lavoro.

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 consentano la conservazione di 5 m di carotaggio. Le cassette catalogatrici potranno essere di materiali diversi come legno, metallo o plastica, a patto che siano sufficientemente robuste da poter essere impilate una sull'altra per il loro immagazzinamento senza esserne danneggiate.
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 blocchetti di legno o simili ad indicare gli spezzoni di carota prelevati ed asportati per il laboratorio con le quote di inizio e fine prelievo.

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 a colori dovranno essere allegate alla documentazione definitiva del sondaggio nel numero di copie richiesto dalla Direzione Lavori.

Riempimento dei fori di sondaggio con miscele cementizie

Ad ultimazione della perforazione, in tutti i casi in cui non sia prevista la posa di strumentazione, il foro di sondaggio dovrà essere riempito con una miscela cementizia costituita dai seguenti componenti nelle proporzioni elencate (in peso):

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

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

2.2 PERFORAZIONE A ROTAZIONE A DISTRUZIONE DI NUCLEO

GENERALITÀ

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.

ATTREZZATURE DI PERFORAZIONE

Per la perforazione a distruzione di nucleo potranno essere impiegate sonde a rotazione, complete di pompa per la circolazione dei fanghi e di dispositivi per la loro preparazione, oppure altre sonde proposte dall'Impresa, il cui utilizzo dovrà comunque essere subordinato ad approvazione da parte della Direzione Lavori.

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 Direzione Lavori.

Il diametro di perforazione, generalmente compreso tra 70 e 150 mm, sarà definito volta per volta in funzione delle prove da eseguire o degli strumenti da installare nel foro e verrà comunicato direttamente all'Impresa dalla Direzione Lavori.

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.

DOCUMENTAZIONE

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

- informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, data, nominativo dell'operatore)
- attrezzatura impiegata;
- diametro di perforazione;
- diametro dell'eventuale rivestimento;
- 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.

2.3 CAMPIONAMENTO GEOTECNICO NEI SONDAGGI

TIPI DI CAMPIONI

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

a) "rimaneggiato", se prelevato dal materiale riposto nella cassetta catalogatrice;
b) "indisturbato", se prelevato con campionatore a pistone, a fune o rotativo, in terreni coesivi;
c) "spezzoni di carota lapidea", se prelevati dal carotaggio in rocce.

I campioni tipo a) e b) devono assicurare una rappresentazione veridica della distribuzione granulometrica del terreno; i campioni tipo b) e c) non devono subire deformazioni strutturali rilevanti conservando inalterate le seguenti caratteristiche:

- contenuto d'acqua (solo per campioni indisturbati);
- peso di volume;
- deformabilità;
- resistenza al taglio.

INDICAZIONI SUL CAMPIONE

I campioni dovranno essere contraddistinti da etichette inalterabili che indichino:

1) cantiere e sito di indagine;
2) data di prelievo;
3) numero del sondaggio;
4) numero del campione;
5) profondità di prelievo;
6) tipo di campionatore impiegato;
7) parte alta del campione (per campioni indisturbati e spezzoni di carota).

Il numero del campione, il tipo di campionatore utilizzato ed il metodo di prelievo dovranno essere riportati sulla stratigrafia del sondaggio alla relativa quota; questi dati devono essere riportati anche nel caso di prelievi non riusciti.

Le due estremità del campione indisturbato dovranno essere sigillate subito dopo il prelievo con uno strato di paraffina fusa e un tappo di protezione.

CAMPIONI RIMANEGGIATI

I campioni rimaneggiati verranno prelevati dal materiale recuperato con il carotaggio e sigillati in sacchetti di polietilene o barattoli di plastica; la quantità necessaria per le prove di laboratorio varia in funzione del tipo di terreno e del tipo di prova da condurre: in generale per delle prove di identificazione le quantità minime del campione saranno conformi alla tabella della modalità di prova per analisi granulometrica per vagliatura del presente Capitolato Tecnico.

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

CAMPIONI INDISTURBATI

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

seguenti parametri dimensionali:

- *rapporto $L/D_{int} \geq 7.5$*
- coefficiente di parete (o rapporto delle aree):

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

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

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

- diametro utile $\geq$ 85 mm

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, a seconda della compattezza del terreno, 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 Direzione Lavori).

1) Il campionatore a pistone ad infissione idraulica tipo Osterberg è il più comune dei tipi a pistone; può essere utilizzato con profitto in terreni coesivi aventi resistenza al taglio < 2 kg/cm^2, in relazione alla potenza della pompa utilizzata; funziona bene anche in sabbie fino a mediamente addensate.
L'Impresa è tenuta ad averlo in cantiere e ad utilizzarlo fino al raggiungimento di fatto dei suoi limiti operativi.

2) I campionatori a pistone infissi meccanicamente permettono il campionamento in terreni la cui consistenza arresta la fustella spinta idraulicamente. Sostituiscono validamente il classico Shelby, avendone la stessa capacità penetrativa (utilizzano la spinta meccanica della sonda applicata alla batteria di aste), con i vantaggi del pistone.

3) 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 dalla batteria di aste, con fluido di circolazione.

4) Campionatori quali i tradizionali Shelby, Denison o Mazier, potranno essere utilizzati solo in seguito alla preventiva autorizzazione da parte della Direzione Lavori e comunque sotto la completa responsabilità dell'Impresa per quanto riguarda l'esito del campionamento.

L'infissione del campionatore deve sempre avvenire in un'unica tratta.
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 deve essere regolata a priori tra 0.5 e 3 cm e deve rimanere costante durante ciascun prelievo.
Il prelievo di campioni indisturbati deve seguire la manovra di perforazione e precedere quella di rivestimento a quota; nel caso in cui l'autosostentamento del foro nel tratto scoperto non esista anche per il breve lasso di tempo necessario al prelievo, si rivestirà prima di campionare avendo cura di fermare l'estremità inferiore del rivestimento metallico provvisorio 0.2 ÷ 0.5 m più in alto della quota di inizio prelievo, ripulendo quindi il foro.
Si deve 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.

SPEZZONI DI CAROTA LAPIDEA
In terreni cementati e in rocce si potranno prelevare dal carotaggio spezzoni di lunghezza > 15 cm, purché rappresentativi del tipo litologico perforato. Gli spezzoni di carota devono essere paraffinati ed inseriti in un involucro rigido di protezione.

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 a proteggerle dal sole o dalle intemperie fino al momento della spedizione.
Le cassette dovranno contenere un massimo di 6 fustelle, onde facilitarne il maneggio. Saranno dotate di coperchio e maniglie; sul coperchio si indicherà la parte alta.
Il trasporto verrà effettuato con tutte le precauzioni necessarie per evitare il danneggiamento dei campioni, sotto la diretta responsabilità dell'Impresa.
I campioni dovranno essere consegnati con cadenza settimanale al laboratorio geotecnico indicato dalla Direzione Lavori mediante distinta di accompagnamento trasmessa per conoscenza alla Direzione Lavori.

2.4 PROVE GEOTECNICHE IN FORO DI SONDAGGIO

2.4.1 STANDARD PENETRATION TEST (SPT)

Descrizione della prova
La prova consiste nella infissione a percussione, secondo una procedura standardizzata, di un campionatore a pareti grosse di dimensioni standard (campionatore Raymond) nel fondo di un foro di sondaggio e nella registrazione dei colpi necessari per una penetrazione di 30 cm (NSPT).
La prova, 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.

Normative e specifiche di riferimento
- ISSMFE Technical Committee (1988) - Standard Penetration Test (SPT): International Reference Test Procedure
L'Impresa dovrà in ogni caso attenersi a quanto di seguito specificato.

Caratteristiche delle attrezzature

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, 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 del campionatore.
Costituita anch'essa di acciaio indurito, come il campionatore, dovrà essere riparata o sostituita quando sbeccata o distorta.
Il campionatore inoltre dovrà essere dotato nella parte superiore di una valvola a sfera e di aperture di scarico (sfiati) 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.

Aste

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‰.

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.

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.

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;

- 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 cilindrico a tenuta d'aria (sacchetto o barattolo di plastica) che deve consentire l'esame del campione senza mescolamenti fra le varie parti.

A ciascun contenitore andrà fissata un'etichetta contenente le seguenti informazioni:

- 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.

Documentazione

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

- informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, data, nominativo dell'operatore);
- n° del sondaggio;
- metodo e diametro di perforazione;
- tipo di maglio e dispositivo di sgancio;
- 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)

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.

Normative e specifiche di riferimento

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

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

Caratteristiche delle attrezzature

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 45 e 100 mm.

L'altezza della paletta dovrà essere pari a 2 volte il diametro.

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%.

Aste di collegamento

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

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

Rivestimento

La batteria di tubi metallici di rivestimento, che dovranno avere anch'essi una elevata rigidezza a flessione ed a torsione, deve 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.

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.

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 50 cm dal fondo foro, senza applicare tensioni torsionali;
- 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.

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

Documentazione

La documentazione di ogni prova dovrà comprendere:
- 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, 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;
- 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 PROVE DI PERMEABILITÀ TIPO LEFRANC

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 (Kv) o una media tra le due $(\sqrt{K_h * Kv})$.
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.

Normative e specifiche di riferimento

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

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

Modalità esecutive

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 20-30 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 a fune (wire-line) dotato di imbocco rastremato oppure di tricono a distruzione, facendolo penetrare con leggera circolazione d'acqua pulita, fino alla base del tratto da provare; si eseguirà quindi il lavaggio all'interno del rivestimento 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 di ghiaia deve essere mantenuto in questa fase appena sopra l'estremità inferiore del rivestimento esterno; in certi terreni (per esempio in sabbie fini) è necessario utilizzare un dreno più fine, quale ad esempio una sabbia medio-grossolana, per prevenire il parziale intasamento;
- 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.

Prova di permeabilità a carico idraulico variabile

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

La 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 del rivestimento 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 la seguente formula:

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

dove: A = area della sezione trasversale del foro al livello dell'acqua, cioè la sezione del rivestimento (m^2)
F = fattore di forma che dipende dalla geometria della prova (m)
T = tempo di riequilibrio (basic time-lag) (s)
Il calcolo del fattore di forma F viene eseguito con la soluzione analitica indicata da Hvorslev (1951), scelta in base alla geometria della prova.
Per la determinazione di T si devono diagrammare i valori del rapporto h/h_0, in scala logaritmica, con i corrispondenti valori di tempo t in scala decimale (t = 0 all'inizio della prova quando $h/ h_0 = 1$,essendo h l'altezza misurata e h_0 l'altezza iniziale). Si traccia poi la retta che meglio collega i punti sperimentali diagrammati. In qualche caso, i punti sperimentali per valori di h/ h_0 vicini ad 1 possono seguire una curva; ciò deve essere trascurato e la linea retta va tracciata attraverso i restanti punti. Si disegna quindi una retta parallela a quella precedente, ma che passa per l'origine degli assi ($h/ h_0 = 1$; t= 0). Il valore del tempo t letto in corrispondenza del rapporto $h/ h_0 = 0.37$ è il valore richiesto del tempo di riequilibrio T.
La prova per estrazione 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.

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;
- la portata immessa (o emunta) a regime idraulico costante deve essere misurata con un 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);
- mantenere le condizioni di immissione (o emungimento) a regime costante, senza variazione alcuna, per una durata minima di 10 minuti;
- la costanza del livello piezometrico viene controllata con una sondina elettrica, se in profondità, e con un'asta graduata, se prossimo a bocca foro;
- la costanza dell'altezza e la misura della portata vengono controllate 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 provocato dall'immissione o dall'emungimento (m)

<u>Documentazione</u>
La documentazione di prova dovrà contenere i seguenti dati:

- 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;
- stratigrafia del sondaggio;
- 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);
- tempo di inizio della prova;
- 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);
- calcolo del coefficiente di permeabilità;
- eventuali note e osservazioni.

2.5 PROVE PENETROMETRICHE CONTINUE

2.5.1 PROVA PENETROMETRICA DINAMICA CONTINUA DPSH

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.

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

Secondo la terminologia ISSMFE, la prova descritta rientra nel tipo "superpesante" (DPSH = Dynamic Probing Super Heavy) in quanto il maglio pesa più di 60 kg.
La prova non è stata standardizzata dall'ASTM.
L'attrezzatura da utilizzarsi e le modalità esecutive dovranno essere conformi ad una delle due specifiche di riferimento citate, a discrezione della Direzione Lavori.

Caratteristiche delle attrezzature

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 ÷ 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.

L'attrezzatura conforme alla Procedura di Riferimento ISSMFE (1988) 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 ± 0.5 mm ed angolo di apertura di 90°; l'altezza complessiva della punta conica deve essere di 126.3 mm, con una parte cilindrica al di sopra del cono di altezza pari al diametro della punta e una parte tronco-conica, al di sopra della parte cilindrica, anch'essa di altezza pari al diametro della punta;
- 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.

Al fine di ridurre l'attrito laterale sulle aste potrà essere consentito l'impiego di fango (possibile solo con l'utilizzo di aste cave) o del rivestimento, entrambi non previsti nella Procedura di Riferimento ISSMFE (1988).

Modalità esecutive

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;
- 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.
Nel caso venga utilizzata l'attrezzatura prevista dall'ISSMFE (1988), la prova penetrometrica dinamica dovrà essere eseguita prevedendo l'infissione della punta conica nel terreno per tratti consecutivi di 20 cm e misurando il numero di colpi necessari. La velocità di infissione deve essere compresa tra 15 e 30 colpi/minuto; ogni interruzione superiore a 5 minuti deve essere registrata. In questo caso l'utilizzo del rivestimento non è obbligatorio, anche se vivamente consigliato, a patto che, come nel caso precedente, le aste siano in grado di ruotare liberamente all'interno del foro: esse devono poter ruotare di almeno 1½ giri ogni metro di avanzamento e per profondità superiori a 10 m ogni 0.2 m di avanzamento.

Preforo

Qualora la prova penetrometrica non raggiungesse la profondità richiesta dal progetto delle indagini o dalla Direzione Lavori, per rifiuto alla penetrazione della punta, la batteria penetrometrica dovrà essere estratta e si dovrà eseguire un preforo fino alla profondità raggiunta con la prova, superando l'ostacolo che ha interrotto la penetrazione. Il preforo dovrà essere eseguito con sonda a rotazione a distruzione (cfr. punto 2.2) e sarà compensato a parte con il relativo prezzo di elenco. In particolare la stabilità delle pareti del preforo dovrà essere assicurata, a scelta dell'impresa esecutrice, con un rivestimento metallico provvisorio oppure con fango di circolazione, previa approvazione da parte della Direzione Lavori. Lo schema del preforo, con precisati i relativi elementi (profondità, diametro, rivestimento, fluido, ecc.) dovrà costituire parte integrante della documentazione di prova. Una volta completato il preforo, discesa a quota la doppia batteria, la prova verrà approfondita fino alla profondità richiesta.

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:

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

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)

Documentazione

La documentazione di prova dovrà comprendere:

- informazioni generali; ubicazione e numero della prova, quota (assoluta o relativa) di p.c.;
- profondità della falda;
- 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;
- penetrazione di riferimento (20 cm o 30 cm);
- tabella dei 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 q_d (MPa) in funzione della profondità;
- schema dettagliato (profondità, diametro, rivestimento, fluido, ecc.) dell'eventuale preforo;
- ogni annotazione utile alla corretta interpretazione della prova.

3 INDAGINI E PROVE GEOMECCANICHE IN SITO

3.1 SONDAGGIO GEOMECCANICO

3.1.1 DESCRIZIONE GEOMECCANICA DELLE CAROTE DI SONDAGGIO

Generalità

Il sondaggio geomeccanico si distingue dal sondaggio geotecnico per il fatto che la descrizione delle carote in roccia viene eseguita in modo particolarmente approfondito e con criteri finalizzati alla caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso.
Le modalità di descrizione del sondaggio geomeccanico saranno applicate per i sondaggi, o per le parti in roccia di sondaggi, per i quali ciò sia espressamente richiesto dal progetto delle indagini.

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.

Attrezzature di perforazione

Le attrezzature saranno simili a quelle previste per i sondaggi geotecnici, e tali da garantire il completo raggiungimento degli obiettivi fissati dal progetto delle indagini.
In ogni caso la descrizione geomeccanica potrà essere svolta solo su carote ottenute con perforazione a carotaggio continuo eseguita utilizzando carotieri doppi (T2, T6) o tripli (T6S).

Attrezzature per la descrizione geomeccanica

L'attrezzatura per la descrizione geomeccanica delle carote di sondaggio dovrà essere costituita da:

- sclerometro da roccia tipo L (martello Schmidt), per la misura della resistenza della superficie dei giunti;
- 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.

Modalità esecutive della perforazione

Le modalità di esecuzione dei sondaggi geomeccanici saranno simili a quelle descritte per i sondaggi geotecnici con l'aggiunta degli accorgimenti necessari per garantire la migliore qualità di carotaggio possibile.
Nel corso della perforazione dovranno essere annotate tutte le profondità alle quali si sono registrate perdite di materiale o si sono incontrate cavità, in modo da poter inserire appositi testimoni nelle cassette catalogatrici.

Modalità di descrizione delle carote e documentazione stratigrafica

Il geologo responsabile dovrà descrivere la stratigrafia come richiesto per i sondaggi geotecnici, precisando i dati generali e tecnici, la litologia, il colore, il grado di alterazione e la struttura.
Inoltre, suddividendo il carotaggio in intervalli di profondità sufficientemente omogenei, dovrà descrivere i caratteri geomeccanici e strutturali del sondaggio, illustrando con massima cura quanto segue:

- struttura della roccia, distinta in 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:

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

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 o durante le 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.
Il valore di RQD dovrà essere determinato per tratti di carota di lunghezza non superiore a quella delle singole manovre, 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);
- inclinazione di ogni giunto, espressa 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);
- tipo di riempimento (coesivo, non coesivo, assente, ecc.), suo spessore (mm) ed eventuale resistenza misurata con penetrometro o scissometro tascabile (kPa).

Tutti gli elementi sopraelencati dovranno figurare in un apposito modulo stratigrafico.

4 MONITORAGGI

4.1 INSTALLAZIONE DI STRUMENTAZIONE

4.1.1 PIEZOMETRO A TUBO APERTO

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).

Normative e specifiche di riferimento

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

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 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 Direzione Lavori.

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. In nessun caso è permesso l'uso di fango bentonitico.

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 0.5 m più bassa di quella di installazione, 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.

Una volta avutasi la presa, il foro deve essere accuratamente lavato con acqua pulita (previo degrado nel caso di presenza di fango a polimeri), interponendo se necessario un sottile tappo di palline di bentonite e ghiaietto per stabilizzare il tetto della miscela plastica.

Installazione

L'installazione seguirà le seguenti fasi:

- posa di uno spessore di 0.5 m di sabbia grossa o ghiaietto pulito (Ø = 1÷4 mm);
- discesa a quota del tubo piezometrico, precedentemente assemblato secondo la sequenza di tratti ciechi e fenestrati prevista dalla Direzione Lavori; 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;

- posa di sabbia grossa o ghiaietto pulito (Ø = 1 ÷ 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 1 m al di sopra del tratto fenestrato, realizzato inserendo bentonite in palline (Ø = 1 ÷ 2 cm) in strati di 20 cm alternata a ghiaietto in strati di 2 ÷ 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;
- 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 Direzione Lavori; 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;
- spurgo e collaudo del piezometro ed esecuzione della prima lettura significativa, da considerarsi tale dopo aver eseguito almeno tre letture, la prima delle quali deve avvenire a non meno di due ore dalla realizzazione del piezometro e le successive a distanza di 24 ore l'una dall'altra; a questa fase dovrà presenziare la Direzione Lavori che successivamente prenderà in consegna il piezometro.

Documentazione

La documentazione dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, data, nominativo dell'operatore);
- 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 per la determinazione della prima lettura significativa.

4.1.2 TUBO INCLINOMETRICO

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.

Normative e specifiche di riferimento

- ASTM D 4622 - 86 (1993) - Standard Test Method for Rock Mass Monitoring Using Inclinometers

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.

Le dimensioni del tubo inclinometrico, per una perforazione di 101 mm, dovranno essere le seguenti:

- $ø_{int}$ tubo = 76 mm;
- $ø_{int}$ guide = 82 mm;
- $ø_{est}$ guide = 86 mm;

Dimensioni diverse del tubo inclinometrico da installare nel foro, in funzione di un diverso diametro di perforazione, dovranno essere comunicate all'Impresa direttamente dalla Direzione Lavori.

I tubi inclinometrici, che dovranno essere disponibili in spezzoni di 3 m, dovranno soddisfare i seguenti requisiti:

- massa non inferiore a 1350 g/m;
- spiralatura 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: $ø_{int}$ guide manicotto < $ø_{est}$ guide tubo inclinometrico + circa 1 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 Direzione Lavori.

In nessun caso potranno essere installati tubi inclinometrici in materiali diversi (ad es. PVC o vetroresina).

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 comunicati all'Impresa direttamente dalla Direzione Lavori.

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 spiralatura 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).

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.

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;

- 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 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 Direzione Lavori; 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.

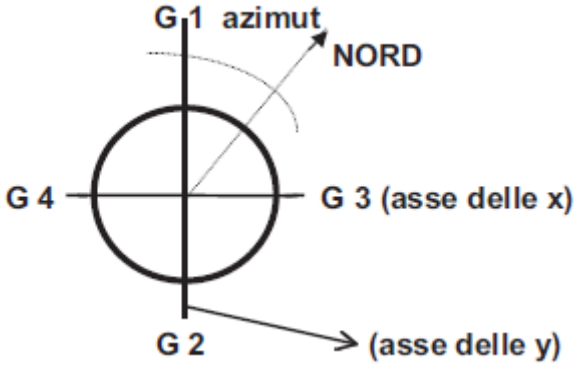
Collaudo della tubazione inclinometrica e lettura iniziale di riferimento

Al termine delle operazioni di installazione e cementazione, non prima di 10 ÷ 14 giorni dalla installazione del tubo, 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, in contraddittorio con l'impresa e alla presenza della Direzione Lavori.

La strumentazione necessaria per il collaudo della tubazione inclinometrica dovrà comprendere una sonda testimone per il controllo dell'integrità della tubazione, una sonda inclinometrica, con le caratteristiche tecniche specificate nell'ambito del paragrafo 4.2 relativo alla misura inclinometrica del presente Capitolato Tecnico, per il controllo della verticalità ed una sonda spiralometrica, a controllo meccanico od elettronico, che consenta la misura dell'azimut del tubo in ogni sezione con una sensibilità non inferiore a 0.1°/m.

Il controllo verrà eseguito 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), preferibilmente orientata secondo la probabile direzione di movimento, se ne misurerà l'azimut, e si numereranno tutte le guide secondo lo schema seguente:



Successivamente dovranno essere verificate anche la verticalità e la spiralatura del tubo, che verrà dichiarato idoneo se la deviazione dalla verticale rilevata sarà inferiore al 2% e la spiralatura totale sarà inferiore a 0.5°/metro lineare.

Le modalità di esecuzione della lettura iniziale di verticalità dovranno essere conformi a quanto riportato al paragrafo 4.2 del presente Capitolato Tecnico.

Documentazione

La documentazione dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, data, nominativo dell'operatore);
- 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;
- azimut della guida di riferimento e schema della numerazione delle guide;
- misura di deviazione dalla verticale;
- misura della spiralatura;
- risultati della lettura iniziale di riferimento.

4.2 LETTURE E RILIEVI STRUMENTALI

4.2.1 MISURA IN PIEZOMETRO A TUBO APERTO

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 installato in un foro di sondaggio verticale.

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.

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 ripetuta diverse volte sollevando e abbassando il puntale all'interno del tubo. La precisione richiesta per la misura è di ± 1 cm.

Documentazione

La documentazione dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, data, nominativo dell'operatore);
- ubicazione plano-altimetrica del piezometro;
- tabella con le letture eseguite (profondità in m) e relativa data;
- file dati;
- eventuali note e osservazioni.

4.2.2 MISURA INCLINOMETRICA

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.

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 di 500 mm (intervallo di misura), dotata di appositi sensori servoaccelerometrici per la misura dell'inclinazione, con campo di misura di ± 30°, sensibilità non inferiore a 1/20.000 sen α (= 50 mm/m) e assetto azimutale 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 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; 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 6 mesi;
- 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.

L'utilizzo di strumentazione con caratteristiche diverse da quelle sopra descritte dovrà essere subordinato a preventiva autorizzazione da parte della Direzione Lavori.

Modalità esecutive

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;
- sollevamento della sonda fino a far coincidere la prima tacca del cavo con il punto di lettura coincidente con la testa del tubo inclinometrico; le misure dovranno essere eseguite sempre con la tacca del cavo posta in corrispondenza della testa del tubo inclinometrico;
- inizio delle letture, che dovranno essere effettuate in discesa partendo dall'alto ad intervalli di 0.5 m, attraverso la registrazione manuale o l'acquisizione diretta dei dati; assicurarsi che la misura più profonda sia eseguita senza che la sonda inclinometrica tocchi sul fondo;
- qualora durante una misura non si dovesse riuscire ad eseguire le letture fino alla profondità di origine della tubazione, si procederà ad appoggiare la sonda sul punto di massima profondità

comunque raggiungibile e si annoteranno accuratamente i dati di inclinazione e la distanza in centimetri dalla lettura completa più profonda;
- 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 discesa, partendo sempre dall'alto;
- 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 discesa, partendo sempre da testa foro;
- 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 discesa, partendo sempre da testa foro.

Documentazione

La documentazione dovrà comprendere, per ogni misura:
- informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, data, nominativo dell'operatore);
- tabulato con le letture di campagna;
- grafico della risultante dello spostamento per punti in funzione della profondità, comprendente, oltre alla misura in elaborazione, anche 5 misure precedenti (se disponibili);
- grafico della sommatoria della risultante dello spostamento in funzione della profondità, comprendente, oltre alla misura in elaborazione, anche 5 misure precedenti (se disponibili);
- grafico dell'azimut della sommatoria della risultante in funzione della profondità, comprendente, oltre alla misura in elaborazione, anche 5 misure precedenti (se disponibili);
- indicazione numerica dello spostamento massimo, del relativo azimut e della profondità da testa tubo;
- indicazione numerica dello spostamento della testa tubo e del relativo azimut;
- file dati;
- copia del certificato di taratura (sensibilità e assetto azimutale) della catena di misura (sonda inclinometrica, cavo e centralina) in data non antecedente di sei mesi la data della serie di misure.

L'elaborazione delle misure, se non altrimenti specificato dalla Direzione Lavori, dovrà essere effettuata dal basso, cioè mantenendo come punto di riferimento fisso il punto di misura più profondo.

5 INDAGINI GEOFISICHE

5.1 PROSPEZIONI SISMICHE

5.1.1 INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE AD ONDE DI COMPRESSIONE (ONDE P)

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.

Normative e specifiche di riferimento

- ASTM D 5777 - 95 - Standard Guide for Using the Seismic Refraction Method for Subsurface Investigation

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

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;
- 24 geofoni verticali a frequenza propria variabile tra 8 e 14 Hz;
- 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.

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 Direzione Lavori ed in ogni caso non dovranno essere in numero inferiore a 5 dei quali 3 interni alla base e 2 esterni.
Nel caso in cui il rilievo debba interessare profondità superiori a 30 ÷ 50 metri e sia prevista una elaborazione tomografica i "tiri" non dovranno essere inferiori a 7 per base sismica dei quali 5 interni e 2 esterni.
L'elaborazione dei dati dovrà essere realizzata mediante software ad elevata valenza diagnostica 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).

Elaborazione tomografica dei dati

Se richiesto dalla Direzione Lavori, 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 - Algebric 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 ÷ 1/5 e 1/5 ÷ 1/10 della spaziatura tra i geofoni.

Documentazione

La documentazione di ciascuna indagine dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, data, nominativo dell'operatore);
- sismogrammi originali sia su supporto cartaceo che digitale;
- profili sismostratigrafici in scala adeguata con indicati i valori delle velocità delle onde di compressione (V_P) calcolati per intervalli omogenei;
- 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.

Rilievo topografico del piano completo di prospezione sismica

Ad integrazione dell'indagine sismica dovrà essere eseguito un rilievo topografico comprendente la determinazione plano altimetrica 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 fornito dalla Direzione Lavori.
Qualora quest'ultimo non risulti disponibile il suddetto rilievo sarà fornito in coordinate relative.
Tale rilievo dovrà essere corredato dai libretti di campagna dei rilievi ed informatizzazione dei dati nei formati digitali stabiliti dalla Direzione Lavori.

5.1.2 INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE AD ONDE DI TAGLIO (ONDE S)

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.

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;
- 24 geofoni orizzontali a frequenza propria variabile tra 8 e 14 Hz;
- 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 ÷ 600 m/s) oppure da cariche di esplosivo.

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 Direzione Lavori ed in ogni caso non dovranno essere in numero inferiore a 5 dei quali 3 interni alla base e 2 esterni.

Nel caso in cui il rilievo debba interessare profondità superiori a 30-50 metri e sia prevista una elaborazione tomografica i "tiri" non dovranno essere inferiori a 7 per base sismica dei quali 5 interni e 2 esterni.

L'elaborazione dei dati dovrà essere realizzata mediante software ad elevata valenza diagnostica 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).

Elaborazione tomografica dei dati

Se richiesto dalla Direzione Lavori, 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 - Algebric 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 ÷ 1/5 e 1/5 ÷ 1/10 della spaziatura tra i geofoni.

Documentazione

La documentazione di ciascuna indagine dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, data, nominativo dell'operatore);
- sismogrammi originali sia su supporto cartaceo che digitale;
- profili sismostratigrafici in scala adeguata con indicati i valori di velocità delle onde di taglio (V_S) calcolati per intervalli omogenei;
- 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.

Rilievo topografico del piano completo di prospezione sismica

Ad integrazione dell'indagine sismica dovrà essere eseguito un rilievo topografico comprendente la determinazione plano altimetrica 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 fornito dalla Direzione Lavori.

Qualora quest'ultimo non risulti disponibile il suddetto rilievo sarà fornito in coordinate relative.

Tale rilievo dovrà essere corredato dai libretti di campagna dei rilievi ed informatizzazione dei dati nei formati digitali stabiliti dalla Direzione Lavori.

5.1.3 ANALISI DELLA ATTENUAZIONE ANELASTICA E DETERMINAZIONE DEL FATTORE QUALITÀ

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".

Elaborazione tomografica dei dati

Se richiesto dal Direzione Lavori, 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 - Algebric 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 ÷ 1/5 e 1/5 ÷ 1/10 della spaziatura tra i geofoni.

Documentazione

La documentazione di ciascuna indagine dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, data, nominativo dell'operatore);
- 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 o taglio (V_S) e Attenuazione onde di compressione (α_P) e di taglio (α_s) e Fattore Qualità delle onde di compressione (Q_P) e delle onde di taglio (Q_S);
- le risultanze finali ed interpretative.

5.1.4 PROVA SISMICA PASSIVA

Generalità

Le misure sismiche passive consentono di valutare con le tecniche dei rapporti spettrali gli effetti di amplificazione sismica locale mediante la registrazione e l'elaborazione di tremore sismico (noise) e/o di eventi micro-macrosismici.

Per detto scopo la registrazione sismica sarà effettuata utilizzando una o più stazioni sismiche portatili (scientific grade) ciascuna così configurata:

a) un sismometro 3D, elettronicamente migliorato, frequenza 1 Hz, sensibilità 400 V/m/s, smorzamento 0.707 c, risposta in frequenza flat tra 0,2 e 80 Hz, che percepisca il moto del suolo lungo le tre componenti Z, NS, EW;

b) registratore digitale a tre canali avente:

- ADC separato per ogni canale ed ad alta dinamica (20 – 24 bit) e bassissimo rumore elettronico;
- Filtri digitali "Zero-Phase" con passabanda di ampiezza pari a 0,4 della f.c.;
- frequenza di campionamento compresa tra 31,25 Hz e 250 Hz;
- "sample rate" selezionabile tra 4 e 32 msec (250 – 31,25 Hz);
- controllo del guadagno di amplificazione;
- funzione di monitor del segnale;
- alimentazione con batteria esterna "Dry" da 12 V DC;
- eventuale trasmissione dei dati registrati tramite modem gsm.

1) La prova sismica passiva di tremore sismico "noise" consente di valutare gli effetti di amplificazione sismica locale con la tecnica detta di Nakamura attraverso il rilievo microsismico di campioni random di "noise" (tremore) sismico e l'analisi dei rapporti spettrali tra la componente orizzontale e verticale del segnale registrato senza tenere conto del comportamento di un eventuale basamento roccioso di riferimento (bedrock).

La procedura di registrazione, campionatura ed elaborazione seguirà il seguente schema:

A. Approntamento e installazione dell'attrezzatura;
B. Registrazione sismica continua in sito nel dominio del tempo della durata almeno di 30 minuti;
C. Campionatura casuale di almeno 2 serie di 5 finestre temporali della durata di 60 secondi cadauna (2x5x60 sec);
D. digital signal processing comprendente:
   - correzione e riallineamento del segnale di ogni serie temporale;
   - eventuale filtraggio passa banda tra 0.1 e 20 Hz;
   - analisi spettrale delle componenti del moto di ciascuna finestra temporale selezionata nel dominio delle frequenza tramite F.F.T. (Fast Fourier Transforms);
   - media degli spettri ottenuti per tutte le componenti;
   - rapporto spettrale tra la componente risultante delle due orizzontali e quella verticale;
   - eventuale lisciatura almeno del 5%;
E. relazione geofisica esplicativa con grafici e tabelle.

2) Il rilievo micro-macrosismico passivo effettuato contemporaneamente sul sito di interesse e sul basamento roccioso di riferimento (bedrock) consente di applicare la tecnica dei rapporti spettrali tra il segnale sismico reale registrato sul sito e quello registrato sul basamento roccioso di riferimento (bedrock).

La procedura di registrazione, campionatura ed elaborazione seguirà il seguente schema:

a) Approntamento e installazione dell'attrezzatura costituita da due o tre stazioni mobili;
b) Registrazione sismica continua in sito / bedrock nel dominio del tempo della durata almeno di una settimana;
c) Campionatura degli eventi sismici utili;
d) digital signal processing comprendente:
   - correzione e riallineamento del segnale;
   - eventuale filtraggio passa banda tra 0.1 e 20 Hz;

- analisi spettrale nel dominio delle frequenza tramite F.F.T. (Fast Fourier Transforms) delle componenti del segnale campionato;
- rapporto spettrale tra le componenti campionate al sito ed al bedrock;
- eventuale lisciatura almeno del 5%;

e) relazione geofisica esplicativa con grafici e tabelle.

6 PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO

6.1 GENERALITÀ

REQUISITI GENERALI DEL LABORATORIO

L'attività del laboratorio di prova dovrà essere condotta in accordo alla norma UNI-CEI-EN 45001 - Criteri generali per il funzionamento di laboratori di prova (Marzo 1990) - con particolare riferimento al punto 5 - Competenza tecnica.

In particolare il laboratorio di prova dovrà essere competente per l'esecuzione delle prove in programma, dovrà disporre di personale tecnico in numero sufficiente con adeguata formazione e aggiornamento facente capo ad un responsabile al quale dovrà fare riferimento la Direzione Lavori.

LOCALI DI PROVA

L'ambiente in cui le prove vengono eseguite non deve in alcun modo invalidarne i risultati né influenzare le misure: i locali di prova dovranno essere opportunamente protetti da condizioni anomale quali temperatura, polveri, umidità, vapori, vibrazioni, disturbi o interferenze elettromagnetiche, dovranno essere sufficientemente spaziosi e dotati di apparecchiature e sorgenti di alimentazione adeguate.

In alcune situazioni (camera umida di conservazione - zona di preparazione provini e assemblaggio delle prove) i locali dovranno essere dotati di strumentazione di controllo e condizionamento ambientale.

L'accesso alle zone di prova dovrà essere adeguatamente controllato e regolato.

APPARECCHIATURE DI PROVA

Il laboratorio di prova deve essere fornito di tutte le apparecchiature necessarie per la corretta esecuzione delle prove in programma.

Tutte le apparecchiatura devono essere conservate con cura e devono essere disponibili idonee procedure di manutenzione.

Per le apparecchiature di prova principali dovrà essere disponibile un sistema di registrazione in cui sia riportato:

- il nome dell'apparecchiatura;
- il nome del fabbricante, l'identificazione del tipo ed il numero di serie;
- 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;
- copia del certificato di taratura di data non anteriore di sei mesi alla data di prova.

Copia delle schede di registrazione delle apparecchiature da utilizzare nell'ambito della Commessa dovrà essere sottoposta alla Direzione Lavori prima dell'inizio dell'attività di prova.

Gli strumenti di misura e le apparecchiatura di prova dovranno essere sottoposte a taratura secondo un programma temporale adeguato al carico di lavoro del laboratorio, e comunque ad intervalli non superiori ai 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. Copia dei certificati di taratura delle apparecchiature e degli strumenti di misura utilizzati per l'esecuzione delle prove, di data non anteriore di sei mesi la data di prova, dovrà accompagnare il rapporto di prova emesso dal laboratorio a conclusione dell'incarico.

IDENTIFICAZIONE DEI CAMPIONI

Il laboratorio presso cui saranno effettuate le prove e le analisi geotecniche dovrà essere dotato di un sistema per l'identificazione dei campioni e delle parti di campioni da sottoporre a prova.

Al momento del ricevimento dei campioni si dovrà controllare la corrispondenza con le distinte o le stratigrafie di accompagnamento, segnalando immediatamente qualsiasi difformità alla Direzione Lavori.
Tutti i campioni e le relative porzioni da sottoporre a prova (provini) dovranno essere chiaramente identificati da una sigla o un codice che accompagnerà il campione o il provino in tutte le fasi dell'attività di laboratorio (conservazione, preparazione dei provini da sottoporre a prova, esecuzione delle prove, preparazione della documentazione di prova e del rapporto finale di prova); dovrà inoltre essere stabilita una corrispondenza tra il codice adottato dal laboratorio per l'identificazione dei campioni e dei provini e il sistema di identificazione utilizzato durante il prelievo in sito, in modo che i risultati delle prove di laboratorio siano sempre chiaramente attribuibili.
Prima dell'inizio delle attività di laboratorio dovrà essere redatta e trasmessa alla Direzione Lavori una scheda sinottica comprendente la località di prelievo, il numero del sondaggio o del pozzetto esplorativo, la profondità di prelievo, il codice adottato nel corso del campionamento, il codice identificativo del campione o del provino adottato in laboratorio, il programma di prove indicato dalla Direzione Lavori ed il programma temporale di attuazione.

CONSERVAZIONE DEI CAMPIONI

I campioni consegnati al laboratorio dovranno essere conservati in modo da non alterarne le caratteristiche originarie.
All'atto della consegna si verificheranno le condizioni di sigillatura dei campioni e si segnaleranno tempestivamente alla Direzione Lavori eventuali danni alle fustelle che potrebbero aver alterato le condizioni originarie dei campioni (ovalizzazioni, deformazioni anomale, etc.).
I campioni dovranno essere conservati in locali a temperatura ed umidità controllata in modo da garantire il mantenimento dei seguenti parametri ambientali:

- temperatura : 20°± 2°
- umidità relativa > 95%

Al termine delle attività di prova i campioni residui non sottoposti a prova dovranno essere conservati in ambiente ad atmosfera controllata e potranno essere avviati a discarica unitamente ai campioni ed ai provini sottoposti a prova, idoneamente conservati, solo previa autorizzazione della Direzione Lavori.

CONDIZIONI DI TRATTAMENTO DEI CAMPIONI

In tutte le fasi dell'attività di laboratorio i campioni e le relative porzioni da sottoporre a prova dovranno essere trattati e manipolati in modo da minimizzare il disturbo ad essi arrecato e da alterarne il meno possibile le caratteristiche e le proprietà naturali che devono essere determinate o investigate.
In particolare si dovrà avere la massima cura per evitare di:

- alterare significativamente il contenuto d'acqua;
- modificare la struttura del terreno;
- applicare sollecitazioni tali da alterare lo stato tensionale residuo;
- modificare la composizione granulometrica del terreno.

Risulta di conseguenza necessario che le operazioni di apertura, descrizione, selezione dei materiali e preparazione dei provini siano effettuati in ambienti con temperatura intorno ai 20° ed umidità non inferiore al 75%, meglio se ad atmosfera controllata; in ogni caso le condizioni ambientali della zona di preparazione dei provini devono essere tali da assicurare variazioni del contenuto d'acqua non superiori all'1 %.
In linea di principio l'inizio delle analisi o prove programmate dovrà immediatamente seguire l'apertura dei campioni; nel caso in cui l'inizio delle attività di prova debba essere necessariamente procrastinato, i provini già confezionati, opportunamente siglati e sigillati, dovranno essere conservati nel locale ad atmosfera controllata utilizzato per la conservazione dei campioni.

Durante le fasi di montaggio e di avvio delle prove dovrà essere garantito il mantenimento delle condizioni originarie dei campioni, segnalando le eventuali variazioni connesse alle procedure di prova ed evitando ogni tipo di modificazione incontrollata.

MODIFICHE AL PROGRAMMA DI PROVE

Le prove di laboratorio dovranno essere eseguite secondo il programma di prove di laboratorio stabilito dalla Direzione Lavori e le eventuali indicazioni integrative fornite dalla Direzione Lavori. Se tuttavia in fase di apertura dei campioni si dovessero riscontrare incongruenze tra il tipo di materiale campionato e le prove indicate o qualora la qualità del campione rendesse poco attendibili i risultati delle prove previste (eccessivo rammollimento, essiccazione, deformazione evidente) il laboratorio interromperà il programma di prova e comunicherà immediatamente alla Direzione Lavori gli inconvenienti riscontrati in modo da adeguare il programma di prove alla effettiva qualità e tipologia dei campioni disponibili.

A tale proposito il laboratorio dovrà comunicare alla Direzione Lavori il programma temporale delle attività in modo che sia possibile presenziare all'apertura dei campioni al fine di concordare eventuali modifiche al programma di prove.

In nessun caso il laboratorio potrà proseguire nel programma di prove o modificare il programma di prove senza la preventiva autorizzazione della Direzione Lavori.

RAPPORTI CON LA DIREZIONE LAVORI

Oltre quanto già riportato in precedenza il responsabile del laboratorio dovrà comunicare alla Direzione Lavori qualsiasi problema o inconveniente che dovesse insorgere durante l'effettuazione delle prove in programma.

Inoltre dovrà essere trasmesso settimanalmente alla Direzione Lavori un rapporto comprendente lo stato di avanzamento dell'attività di laboratorio, ogni variazione rispetto al programma temporale trasmesso inizialmente ed i risultati delle prove già eseguite, anche in bozza. In tutta la corrispondenza si dovrà fare riferimento allo schema adottato per la scheda sinottica inizialmente trasmessa alla Direzione Lavori.

In caso di controversie o di perplessità relative alle modalità operative del laboratorio la Direzione Lavori si riserva la facoltà di richiedere l'esame di alcuni campioni o l'esecuzione di alcune prove di controllo e verifica da effettuarsi presso un laboratorio di sua fiducia.

NORMATIVE DI RIFERIMENTO

Le prove saranno eseguite, salvo diversa indicazione, in accordo agli standard di prova indicati nel presente capitolato tecnico.

Di seguito, per ciascuna prova elencata, viene riportata la normativa di riferimento a cui il laboratorio dovrà di regola attenersi nell'esecuzione delle prove, unitamente ad alcune indicazioni sulle modalità di prova; l'eventuale esecuzione delle prove secondo standard o normative alternative a quelle indicate nel presente capitolato tecnico dovrà in ogni caso essere preventivamente autorizzato dalla Direzione Lavori.

Nei capitoli relativi alle modalità di prova del presente capitolato tecnico non si forniscono istruzioni operative dettagliate, per le quali si rimanda agli standard di riferimento, ma si sottolineano aspetti dei procedimenti di prova ritenuti particolarmente significativi per la corretta conduzione delle stesse.

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

DOCUMENTAZIONE DA FORNIRE

Alla consegna dei certificati di prova dovrà essere fornita anche una sintesi che riporterà i risultati principali ottenuti dalle singole prove. Tale sintesi, espressa in un quadro riepilogativo generale, dovrà contenere la sigla identificativa del campione e la profondità di prelievo, le percentuali delle diverse frazioni granulometriche, i valori dei limiti di consistenza e dell'indice di plasticità, le classificazioni AGI, USCS e CNR-

UNI 10006, il contenuto d'acqua e il peso di volume naturale, i valori di c e φ ottenuti dalle prove di taglio diretto e dalle prove triassiali, i valori di modulo edometrico, coefficiente di consolidazione verticale e coefficiente di consolidazione secondaria per una determinata pressione di riferimento.
Nei capitoli seguenti del presente capitolato tecnico viene indicata la documentazione minima da fornire per ciascuna prova o analisi eseguita.
In ogni caso il rapporto finale di prova dovrà comprendere almeno le seguenti informazioni:

- il nome e l'indirizzo del laboratorio di prova;
- l'identificazione univoca del rapporto di prova, di ciascuna sua pagina e del numero totale delle pagine;
- il nome ed indirizzo del Committente;
- l'identificazione dei campioni;
- la data di ricevimento dei campioni e la data di prova;
- lo standard di riferimento seguito per l'esecuzione delle prove;
- tutte le misure, gli esami e i loro risultati, corredati di tabelle, grafici, disegni e fotografie e tutte le anomalie individuate;
- la firma del responsabile del rapporto di prova e la data di emissione.

I risultati di tutti i calcoli e le determinazioni eseguite dovranno essere espressi in opportune unità SI, con relative multipli o sottomultipli.

SUBAPPALTO

Non è consentito l'affidamento dell'esecuzione delle prove di laboratorio ad un laboratorio diverso da quello indicato dall'impresa, la quale, preventivamente all'inizio dei lavori di indagine geognostica, dovrà comunicarne il nominativo alla Direzione Lavori. È consentito l'affidamento ad un laboratorio esterno di prove particolarmente sofisticate, non routinarie, e per le quali il laboratorio non sia adeguatamente attrezzato, solo previa autorizzazione della Direzione Lavori.
In ogni caso il laboratorio dovrà garantire la corretta esecuzione delle prove subappaltate e l'attendibilità dei risultati ottenuti, assicurandosi e garantendo nei confronti della Direzione Lavori che il laboratorio subappaltante soddisfi i criteri generali di competenza prescritti nel presente capitolato tecnico.

6.2 DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE FISICHE (PROVE DI IDENTIFICAZIONE)

6.2.1 APERTURA E DESCRIZIONE GEOTECNICA DI CAMPIONI INDISTURBATI

Campioni indisturbati alloggiati in fustelle cilindriche

L'estrusione dalle fustelle di alloggiamento dovrà avvenire in modo da minimizzare il disturbo arrecato al campione: a tale proposito è consigliato l'utilizzo di un estrusore idraulico. In ogni caso l'estrusione dovrà avvenire con lentezza e continuità, evitando l'applicazione di sforzi eccessivi o l'esecuzione di brusche manovre.

Dopo l'estrusione il campione sarà sottoposto a scoticatura e ripulitura delle estremità e si procederà alla descrizione geotecnica visivo-manuale del materiale campionato indicando natura, colore, strutture, inclusioni, frammenti di conchiglie, resti organici, eventuale odore ed ogni altro elemento ritenuto significativo. La descrizione geotecnica visivo-manuale dovrà essere condotta in accordo allo standard ASTM D2488-93 (Standard Practice for Description and Identification of Soils - Visual-Manual Procedure).

Si effettuerà quindi una ripresa fotografica a colori del campione avendo cura che l'immagine risulti nitida e chiaramente leggibile; la foto comprenderà anche una scala colorimetrica e una scala metrica di riferimento e riporterà la completa identificazione del campione.

Successivamente si procederà ove possibile alla esecuzione di prove speditive con penetrometro e scissometro tascabile ad intervalli regolari per la determinazione dello stato di consistenza del materiale campionato.

Da ultimo si procederà alla selezione delle porzioni del campione da sottoporre a prova, avendo particolare cura di escludere dal confezionamento dei provini da sottoporre a prova le porzioni disturbate per rammollimento o deformazione eccessiva, e di scegliere porzioni omogenee del campione per l'esecuzione di prove che richiedano la preparazione di una serie di provini.

Nella scelta delle porzioni di campione da sottoporre a prova assume particolare rilevanza la valutazione della stato di qualità del campione che dovrà in ogni caso essere indicata.

Al termine dell'esame sarà redatto un apposito modulo contenente tutte le osservazioni e misure condotte, l'indicazione delle prove da eseguire e dei relativi provini, indicazioni sullo stato di qualità del campione e della fustella, le dimensioni della fustella e del campione estruso. Il modulo sarà corredato dalla documentazione fotografica del campione.

Campioni indisturbati cubici

L'estrazione dei campioni indisturbati alloggiati in cassette cubiche dovrà avvenire con estrema cautela, in modo da minimizzare il disturbo arrecato al campione.

Una volta estratto il campione si procederà in analogia a quanto indicato relativamente a campioni indisturbati alloggiati in fustelle cilindriche.

6.2.2 APERTURA E DESCRIZIONE GEOTECNICA DI CAMPIONI RIMANEGGIATI

L'estrazione del campione rimaneggiato dal contenitore di alloggiamento (sacchetto, barattolo, vasetto, etc.) sarà seguita dalla descrizione geotecnica visivo-manuale del materiale condotta in accordo allo standard ASTM D2488-93 (Standard Practice for Description and Identification of Soils - Visual-Manual Procedure).

Se richiesto, il materiale campionato sarà sottoposto a ripresa fotografica a colori avendo cura che l'immagine risulti nitida e chiaramente leggibile; la foto comprenderà anche una scala colorimetrica e una scala metrica di riferimento e riporterà la completa identificazione del campione.

Al termine delle operazioni si procederà alla redazione di un modulo contenente la descrizione geotecnica del campione, l'indicazione delle prove da eseguire e l'eventuale documentazione fotografica.

6.2.3 DETERMINAZIONE DEL CONTENUTO NATURALE D'ACQUA

Generalità

La prova consiste nella determinazione del contenuto d'acqua di terreni, rocce e materiali similari.

Normative e specifiche di riferimento

- ASTM D 2216 - 92 - Standard Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock

Modalità di prova

La determinazione del contenuto naturale d'acqua, ottenuto per differenza tra peso del campione umido e peso del campione essiccato in forno termostatato a 105° ed espresso in percentuale rispetto al peso del campione essiccato, dovrà essere effettuata su campioni o porzioni di campioni che non abbiano subito significative variazioni di umidità (rammolliti o essiccati) rispetto alle condizioni naturali.

Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- valore percentuale del contenuto d'acqua espresso alla prima cifra decimale;
- documentazione delle pesate eseguite;
- note sulla eventuale disomogeneità del campione ed indicazione della porzione a cui si riferisce la determinazione;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo impiegati (bilancia, termostato) di data non anteriore di sei mesi alla data di prova.

6.2.4 DETERMINAZIONE DELLA MASSA VOLUMICA APPARENTE (PESO DI VOLUME NATURALE)

Generalità

La prova consiste nella determinazione della massa volumica apparente di un terreno, ottenuto come rapporto tra la massa di un provino ed il suo volume.

Normative e specifiche di riferimento

- BS 1377 (1990) - Methods of test for soils for civil engineering purposes - Part 2: Classification tests

Modalità di prova

La prova dovrà essere effettuata unicamente su provini indisturbati, avendo cura di non alterare in alcun modo le caratteristiche del campione durante il confezionamento del provino.

Per il confezionamento dei provini dovrà di norma essere impiegato un apposito tornietto da laboratorio, al fine di minimizzare il disturbo al campione; l'uso del tornietto potrà essere evitato per terreni a bassa consistenza, per i quali è possibile l'infissione a pressione di una fustella tarata mediante l'impiego di un idoneo campionatore.

In nessun caso la fustella sarà infissa manualmente nel terreno da campionare.

Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- risultato della determinazione espresso in unità SI [Mg/m^3] con definizione della seconda cifra decimale;
- documentazione delle pesate eseguite e delle dimensioni dei provini;
- note sulla eventuale disomogeneità del campione ed indicazione della porzione a cui si riferisce la determinazione;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo impiegati (bilancia) di data non anteriore di sei mesi alla data di prova.

6.2.5 DETERMINAZIONE DEI LIMITI DI CONSISTENZA

Generalità

La prova consiste nella determinazione del contenuto d'acqua per il quale avviene il passaggio dallo stato semiliquido allo stato plastico (limite di liquidità) e dallo stato plastico allo stato semisolido (limite di plasticità).

Normative e specifiche di riferimento

- ASTM D 4318 - 84 - Standard Test Method for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils

Modalità di prova

Prima dell'inizio della determinazione del limite liquido si procederà alla regolazione dell'altezza di caduta della Cucchiaia di Casagrande, si controllerà lo stato di usura della Cucchiaia e dell'utensile solcatore e la regolarità della base, procedendo alla eventuale sostituzione delle parti usurate.

Le tolleranze dimensionali da rispettare sono le seguenti:

- altezza di caduta: 10 ± 0.2 mm;
- profondità del solco di usura sulla Cucchiaia: < 0.1 mm;
- larghezza della punta del solcatore: 2 ± 0.1 mm;
- profondità della punta del solcatore: 8 ± 0.1 mm;
- diametro dell'impronta di impatto sulla base < 10 mm.

Per la determinazione del limite di liquidità si impiegherà di norma il metodo multipunto, con almeno tre punti di prova. Solo nel caso di quantità insufficienti di materiale si potrà adottare il metodo a punto singolo, con esecuzione di almeno due determinazioni, e previo preventivo assenso della Direzione Lavori.

Per quanto concerne il limite di plasticità, qualora il materiale non risultasse lavorabile, si riporterà come risultato l'indicazione ""Non Plastico"" .

Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- risultato delle determinazioni espresse come valori percentuali con indicazione della prima cifra decimale;
- documentazione delle pesate eseguite;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo impiegati (bilancia, termostato) di data non anteriore di sei mesi alla data di prova.

6.2.6 DETERMINAZIONE DEL LIMITE DI RITIRO

Generalità

La prova consiste nella determinazione del quantitativo d'acqua necessario per saturare un campione di terreno coesivo precedentemente essiccato in forno.

Normative e specifiche di riferimento

- ASTM D 427 - 93 - Test Method for Shrinkage Factors of Soils by the Mercury Method. Tenuto conto della tossicità del mercurio utilizzato nel metodo, è consentito l'uso dello standard alternativo ASTM D 4943 - 95.

Modalità di prova

La determinazione del limite di ritiro dovrà essere condotta effettuando almeno due misure del contenuto d'acqua a volume costante su provini omogenei.

Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- risultato espresso come valore percentuale con indicazione della prima cifra decimale, calcolato come media delle due determinazioni effettuate;
- documentazione delle pesate eseguite;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo impiegati (bilancia, termostato) di data non anteriore di sei mesi alla data di prova.

6.2.7 ANALISI GRANULOMETRICA PER VAGLIATURA

Generalità

La prova consiste nella determinazione della distribuzione granulometrica di un campione di terreno trattenuto al setaccio ASTM n° 200.

Normative e specifiche di riferimento

- ASTM D 422 - 63 (90) - Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils
- ASTM D 421 - 85 (93) –Standard Practice for Dry Preparation of Soil Samples for Particle-Size Analysis and Determination of Soils Constants

Modalità di prova

L'analisi granulometrica per vagliatura si eseguirà in ogni caso per via umida, impiegando setacci e vagli della serie ASTM di diametro non inferiore ai 300 mm, scelti tra i seguenti termini in funzione della dimensione massima dei granuli: n° 200, n° 100, n° 60, n° 40, n° 20, n° 10, n° 4, 3/8", 3/4", 1", 1.5", 2" e 3". E' ammesso l'uso di serie di setacci equivalenti a quella sopra indicata.
Il quantitativo minimo da sottoporre a prova sarà stabilito sulla base delle dimensioni massime dei granuli presenti in quantità significativa (non inferiore al 10%) secondo il seguente schema:

MASSA MINIMA DA ANALIZZARE

Dimensione massima granuli [mm]	*Massa minima campione [g]*
2	200
10	1000
15	2000
40	10000
60	15000
70	25000
100	35000

Prima dell'esecuzione dell'analisi granulometrica si dovrà procedere ad un controllo dell'integrità dei setacci, sostituendo immediatamente i setacci lesionati.
Il campione da sottoporre ad analisi, una volta essiccato e pesato, verrà immerso in acqua fino al completo distacco della frazione fine dai granuli e la completa disgregazione dei grumi, favorendo l'operazione mediante agitazione meccanica.
Successivamente, evitando qualsiasi perdita di materiale, si procederà alle operazioni di setacciatura favorendo il passaggio del materiale con getti d'acqua e con l'azione meccanica di un pennello molto morbido, avendo cura di non forzare il materiale tra le maglie dei setacci; l'operazione di lavaggio potrà essere conclusa solo quando l'acqua che fuoriesce dall'ultimo setaccio sia perfettamente limpida.
Si procederà quindi all'essiccazione in forno termostatato a 105° e alla determinazione delle masse trattenute a ciascun setaccio.
Il materiale analizzato dovrà essere classificato in accordo alle Raccomandazioni A.G.I. (1977) e, qualora sia stata eseguita anche la determinazione dei limiti di consistenza, anche in accordo allo Standard ASTM D 2487-93 - Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System) e alla Classificazione delle terre CNR-UNI 10006.

Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- diametro massimo del campione analizzato;

- quantità di materiale analizzato;
- tabella con indicazione della percentuale di materiale trattenuto a ciascun setaccio;
- diagramma semilogaritmico % di trattenuto - diametro;
- classificazione granulometrica del materiale analizzato;
- documentazione delle pesate eseguite;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo impiegati (bilancia, termostato) di data non anteriore di sei mesi alla data di prova.

6.2.8 DETERMINAZIONE DEL PASSANTE O TRATTENUTO AD UN SINGOLO VAGLIO

Normative e specifiche di riferimento

- ASTM D 1140 - 92 - Standard Test Method for Amount of Material in Soils Finer Than the No. 200 (75-mm) Sieve
- ASTM D 422 - 63 (90) - Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils
- ASTM D 421 - 85 (93)-Standard Practice for Dry Preparation of Soil Samples for Particle-Size Analysis and Determination of Soils Constants

Modalità di prova

Il quantitativo minimo di materiale da sottoporre ad analisi dovrà essere stabilito in funzione delle dimensioni massime dei granuli costituenti il campione in esame, in analogia a quanto indicato al punto per l'analisi granulometrica per vagliatura e a quanto riportato nelle specifiche di riferimento.

Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- diametro massimo del campione analizzato;
- quantità di materiale analizzato;
- percentuale di materiale trattenuto o passante al setaccio impiegato espresso con la prima cifra decimale, riferita alla massa complessiva del materiale analizzato;
- documentazione delle pesate eseguite;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo impiegati (bilancia, termostato) di data non anteriore di sei mesi alla data di prova.

6.2.9 ANALISI GRANULOMETRICA PER SEDIMENTAZIONE

Generalità

La prova consiste nella determinazione della distribuzione granulometrica della frazione passante al setaccio ASTM n° 200 di un terreno.

Normative e specifiche di riferimento

- ASTM D 422 - 63 (90) - Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils
- ASTM D 421 - 85 (93) - Standard Practice for Dry Preparation of Soil Samples for Particle-Size Analysis and Determination of Soils Constants

Modalità di prova

L'analisi granulometrica per sedimentazione dovrà essere condotta effettuando letture della densità e della temperatura di una sospensione, preparata con 50 gr di materiale passante al setaccio ASTM n° 200, 125 ml di soluzione disperdente (esametafosfato di sodio in soluzione pari a 40g/L, confezionata non più di 30 gg prima della data di impiego) e acqua distillata fino ad ottenere un volume pari a 1000 ml, dopo 1', 2', 4', 8', 15', 30', 60', 120', 240', 480' e 1440' dal termine dell'agitazione preliminare; si precisa che l'analisi potrà considerarsi conclusa solo quando le densità della sospensione risulta prossima a quella dell'acqua pura (circa 48 ore per i terreni francamente argillosi)

Le letture di densità dovranno essere effettuate con densimetro calibrato di tipo ASTM 151H o 152H.

Per tutta la durata dell'analisi si avrà cura di evitare qualsiasi vibrazione ai cilindri di prova ed eccessive variazioni di temperatura; a tale scopo potrà convenientemente impiegarsi una vasca termostatata a 20°.

Il materiale analizzato dovrà essere classificato in accordo alle Raccomandazioni A.G.I. (1977) e, qualora sia stata eseguita anche la determinazione dei limiti di consistenza, anche in accordo allo Standard ASTM D 2487-93 - Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System) e alla Classificazione delle terre CNR-UNI 10006.

Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- quantità di materiale analizzato;
- data di preparazione della soluzione disperdente;
- tabella con indicazione della percentuale di materiale trattenuto in corrispondenza di ciascun diametro;
- diagramma semilogaritmico % - diametro;
- classificazione granulometrica del materiale analizzato;
- documentazione delle letture di densità e temperature eseguite;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo impiegati (bilancia, termostato, termometro) di data non anteriore di sei mesi alla data di prova.

6.2.10 DETERMINAZIONE DELLA MASSA VOLUMICA REALE (PESO SPECIFICO DEI GRANI)

Generalità

La prova consiste nella determinazione del rapporto tra la massa della frazione solida di un terreno ed il suo volume.

Normative e specifiche di riferimento

- ASTM D 854 - 92 - Standard Test Method for Specific Gravity of Soils

Modalità di prova

Il peso specifico dei grani dovrà essere ottenuto come valore medio di due determinazioni eseguite col metodo del picnometro calibrato su materiale omogeneo. Per l'eliminazione dell'aria intrappolata si dovrà impiegare una pompa per vuoto con pressione non superiore a 100 mm Hg.

Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- quantità di materiale analizzato;
- risultato delle due determinazioni eseguite espresso in Mg/m^3 con indicazione di tre cifre decimali;
- valore medio del peso specifico dei grani;
- documentazione delle misure effettuate;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo impiegati (bilancia, manometro, termometro) di data non anteriore di sei mesi alla data di prova.

6.3 DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE FISICO-MECCANICHE

6.3.1 PROVE EDOMETRICHE

Generalità

La prova edometrica consiste nella determinazione dell'entità e della velocità della consolidazione di terreni coesivi soggetti ad incrementi tensionali. La prova può essere condotta ad incrementi di carico controllati (prova IL) o a velocità di deformazione controllata (prova CRS). Nel corso della prova edometrica, oltre ai parametri normalmente calcolati, è possibile eseguire determinazioni dirette di permeabilità.

PROVA EDOMETRICA A INCREMENTI DI CARICO CONTROLLATI (IL)

Normative e specifiche di riferimento

- ASTM D 2435 - 90 - Standard Test Method for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils

Modalità di prova

La prova di compressione edometrica ad incrementi di carico controllati dovrà essere condotta su provini cilindrici di diametro non inferiore a 50 mm e rapporto diametro/altezza compreso tra 2.5 e 6 preparati con apposito tornietto campionatore a partire da campioni indisturbati; per materiali poco consistenti si potrà infiggere l'anello porta campione a pressione direttamente nel campione da analizzare; in nessun caso sarà possibile infiggere a mano l'anello porta campione. L'altezza dei provini dovrà in ogni caso essere maggiore di 10 volte il diametro massimo delle particelle costituenti il materiale in prova. La preparazione del provino dovrà avvenire in ambiente ad umidità controllata in modo da evitare qualsiasi variazione al contenuto d'acqua iniziale.

Una volta inserito il terreno nell'anello porta campione, si procederà al montaggio della cella edometrica inserendo le pietre porose inferiore e superiore e della carta da filtro tipo Whatman's n. 54 tra il terreno e le pietre porose. La carta da filtro non dovrà essere utilizzata nel caso di prove su argille molto consistenti.

Successivamente si posizionerà la cella edometrica sul telaio di carico applicando una pressione di serraggio pari a 5 kPa controllando le variazioni di altezza del provino e regolando la pressione iniziale per evitare rigonfiamenti o eccessive consolidazioni del provino.

Al fine di evitare rigonfiamenti del terreno in prova, si procederà all'inserimento dell'acqua nella cella edometrica solo dopo aver raggiunto un carico verticale pari alla tensione geostatica esistente in sito.

La prova sarà condotta applicando la seguente successione di carico: 12 kPa, 25 kPa, 50 kPa, 100 kPa, 200 kPa, 400 kPa, 800 kPa, 1600 kPa, 3200 kPa. Per ciascun gradino di carico si procederà alla registrazione delle deformazioni secondo uno schema temporale in successione geometrica, mantenendo il carico almeno per un tempo sufficiente all'individuazione del tempo di fine consolidazione (t_{100}); qualora il diagramma non consentisse una chiara individuazione del t_{100} il gradino di carico dovrà essere mantenuto per almeno 24 h.

Si procederà poi alla costruzione del diagramma deformazione verticale - logaritmo del carico verticale (ε_v - $\log\sigma'_v$), costruito impiegando i valori di cedimento corrispondenti ai t_{100}, in modo da valutare l'andamento del processo di consolidazione. Qualora tale diagramma evidenziasse una pressione massima applicata insufficiente (assenza di tre punti allineati dopo la massima curvatura) si procederà all'applicazione di ulteriori incrementi di carico sino ad ottenere chiaramente la retta di compressione.

In seguito si eseguirà la fase di scarico finale con esecuzione di almeno 3 gradini di scarico.

Durante l'esecuzione del ciclo di carico si eseguirà inoltre un ciclo di scarico ricarico a partire dalla tensione geostatica σ'_{vo} esistente in sito comprendente tre gradini di scarico e tre di ricarico.

Ove richiesto si procederà anche alla determinazione dei valori del coefficiente di consolidazione Verticale c_v, del coefficiente di permeabilità k e del coefficiente di consolidazione secondaria c_α in corrispondenza di livelli di carico indicati dalla Direzione Lavori.

Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- dimensioni iniziali e finali del provino;
- contenuto d'acqua iniziale e finale del provino;
- indice dei vuoti iniziale e finale del provino;
- peso di volume iniziale e finale del provino;
- grado di saturazione iniziale e finale del provino;
- tabella riassuntiva riportante i valori di deformazione verticale percentuale e di indice dei vuoti per ciascun livello di carico ed i valori del modulo edometrico nei tratti di carico;
- tabella con i valori di cv, k e cα ove richiesto;
- diagramma indice dei vuoti - logaritmo del carico verticale efficace (e - log'v) costruito sulla base dei cedimenti corrispondenti ai t_{100} di fine consolidazione;
- diagramma logaritmo del carico - logaritmo del modulo edometrico;
- tabelle cedimento - tempo per ciascun gradino di carico o scarico;
- diagramma cedimento - logaritmo del tempo per tutti i gradini di carico;
- documentazione delle misure effettuate;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo impiegati (bilancia, comparatori o trasduttori di spostamento lineari, eventuali trasduttori di carico) di data non anteriore di sei mesi alla data di prova.

PROVA EDOMETRICA A VELOCITÀ DI DEFORMAZIONE CONTROLLATA (CRS)

Normative e specifiche di riferimento

- ASTM D 4186 - 89 - Standard Test Method for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils Using Controlled-Strain Loading

Modalità di prova

La prova di compressione edometrica a velocità di deformazione controllata dovrà essere condotta su provini cilindrici di diametro non inferiore a 50 mm e rapporto diametro/altezza non inferiore a 2.5 preparati con apposito tornietto campionatore a partire da campioni indisturbati; per materiali poco consistenti si potrà infiggere l'anello porta campione a pressione direttamente nel campione da analizzare; in nessun caso sarà possibile infiggere a mano l'anello porta campione. L'altezza dei provini dovrà in ogni caso essere maggiore di 10 volte il diametro massimo delle particelle costituenti il materiale in prova. La preparazione del provino dovrà avvenire in ambiente ad umidità controllata in modo da evitare qualsiasi variazione al contenuto d'acqua iniziale.

Una volta inserito il terreno nell'anello porta campione, si procederà al montaggio della cella edometrica, inserendo le pietre porose inferiore e superiore preventivamente saturate e della carta da filtro tipo Whatman's n. 54 tra il terreno e le pietre porose, avendo cura di evitare di intrappolare aria tra il provino, i filtri in carta e le pietre porose.

Si procederà poi alla completa disaerazione dei circuiti di applicazione della back-pressure, della cella edometrica e dei trasduttori di pressione.

Successivamente si posizionerà la cella edometrica sul telaio di carico, applicando una pressione di serraggio pari a 5 kPa, controllando le variazioni di altezza del provino e regolando la pressione iniziale per evitare rigonfiamenti o eccessive consolidazioni del provino.

Prima dell'inizio del percorso di carico, il provino sarà sottoposto a completa saturazione mediante back-pressure applicata lentamente, in modo da evitare eccessive deformazioni al provino.

La prova sarà quindi condotta, incrementando i carichi applicati in modo che l'eccesso di pressione interstiziale generato sia in ogni momento compreso tra il 3% ed il 20% del carico verticale applicato.
Di seguito si riportano dei valori indicativi delle velocità di deformazione da adottare in funzione del limite liquido del campione in esame.

VELOCITÀ DI DEFORMAZIONE

Limite liquido [%]	*Velocità di deformazione [%/min.]*
0 ÷ 40	0.04
40 ÷ 60	0.01
60 ÷ 80	0.004
80 ÷ 100	0.001
100 ÷ 120	0.0004
120 ÷ 140	0.0001

In nessun caso è consentito variare la velocità di deformazione nel corso della prova.
Durante la prova si procederà al monitoraggio e alla registrazione ad intervalli di tempo appropriati del carico assiale applicato, della pressione interstiziale e della deformazione indotta.
La prova dovrà essere protratta sino ad ottenere chiaramente l'andamento rettilineo dopo la massima curvatura; in seguito si eseguirà lo fase di scarico finale. Tenuto conto che nella fase di scarico l'eccesso di pressione interstiziale diventa negativo, il valore iniziale di back-pressure applicato dovrà essere scelto in modo che la pressione neutra misurata alla base del provino non scenda mai al di sotto della pressione atmosferica.
Durante la fase di carico si eseguirà inoltre un ciclo di scarico ricarico a partire dalla tensione geostatica σ'_{vo} e sino alla tensione minima pari a $\sigma'_{vo}/4$.
Nel corso della prova si procederà inoltre alla determinazione di almeno 10 valori del coefficiente di consolidazione verticale c_v e del modulo edometrico.
Ove richiesto, si procederà anche alla determinazione dei valori di c_α in corrispondenza di livelli di carico indicati dalla Direzione Lavori, interrompendo la progressione di carico e consentendo la completa dissipazione delle pressioni interstiziali.

<u>Documentazione</u>
La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- dimensioni iniziali e finali del provino;
- contenuto d'acqua iniziale e finale del provino;
- indice dei vuoti iniziale e finale del provino;
- peso di volume iniziale e finale del provino;
- grado di saturazione iniziale e finale del provino;
- velocità di deformazione adottata;
- valore di back-pressure applicato;
- tabella riassuntiva riportante i valori misurati di deformazione verticale, di pressione interstiziale, di carico verticale applicato ed i relativi tempi;
- tabella riassuntiva con i valori calcolati di deformazione verticale percentuale, indice dei vuoti, carico verticale efficace, modulo edometrico e coefficiente di consolidazione verticale cv;
- tabella con i valori di cα ove richiesto;
- diagramma indice dei vuoti - logaritmo del carico verticale efficace (e - log'v);
- diagramma deformazione verticale percentuale - logaritmo del carico verticale efficace;
- diagramma logaritmo del modulo edometrico - logaritmo del carico verticale efficace;
- diagramma coefficiente di consolidazione verticale - logaritmo del carico verticale efficace;
- diagramma cedimento - logaritmo del tempo per i soli livelli tensionali per i quali è richiesta la determinazione di cα;
- documentazione delle misure effettuate;

- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo impiegati (bilancia, comparatori o trasduttori di spostamento lineari, anelli dinamometrici o trasduttori di carico, trasduttori di pressione, regolatore di velocità della pressa di carico) di data non anteriore di sei mesi alla data di prova.

6.3.2 PROVA DI TAGLIO CON SCISSOMETRO DA LABORATORIO

Generalità

La prova consiste nella determinazione della resistenza al taglio non drenata di picco e residua di terreni coesivi.

Normative e specifiche di riferimento

- ASTM D 4648 - 94 - Standard Test Method for Laboratory Miniature Vane Shear Test for Saturated Fine-Grained Clayey Soil

Modalità di prova

La prova sarà eseguita su provini ottenuti da campioni indisturbati aventi diametro non inferiore a 5 volte il diametro delle palette dello scissometro impiegato, con superficie di inserimento delle palette perfettamente piana e perpendicolare all'asse dello strumento; durante la preparazione dei provini si dovrà evitare qualsiasi variazione del contenuto d'acqua.

Il diametro delle palette di prova dovrà essere compreso tra 12.7 e 25.4 mm, con altezza pari a 2 volte il diametro. Lo strumento di prova dovrà essere in grado di applicare una rotazione costante con velocità compresa tra 60 e 90 gradi al minuto; a tale proposito è raccomandabile l'impiego di uno strumento motorizzato. La misura dello sforzo applicato potrà avvenire con molle calibrate o preferibilmente con trasduttori elettrici; nel caso di impiego di molle calibrate si dovrà procedere al periodico controllo della calibrazione.

La prova comprende la determinazione sia della resistenza di picco, corrispondente alla rottura del terreno o, nel caso di materiali incrudenti, al valore di resistenza relativo a 180° di rotazione, che della resistenza residua successiva all'esecuzione di 10 rapide rotazioni complete dello strumento.

Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- dimensioni del provino;
- dimensioni delle palette di prova;
- velocità di rotazione adottata;
- valore della resistenza di picco e della resistenza residua espresse in kPa;
- documentazione delle misure effettuate;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo (trasduttori di torsione) o della curva di calibrazione delle molle di data non anteriore di sei mesi alla data di prova.

6.3.3 PROVA DI COMPRESSIONE MONOASSIALE AD ESPANSIONE LATERALE LIBERA

Generalità

La prova consiste nella determinazione della resistenza a compressione monoassiale in assenza di confinamento laterale di terreni coesivi e fornisce un valore approssimato della resistenza non drenata espressa in termini di tensioni totali.

Normative e specifiche di riferimento

- ASTM D 2166 - 91 - Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil.

Modalità di prova

La prova sarà eseguita su provini cilindrici di diametro non inferiore a 35 mm e rapporto altezza/diametro compreso tra 2 e 2.5 preparati con apposito tornietto campionatore a partire da campioni indisturbati; per materiali poco consistenti si potrà infiggere a pressione direttamente nel campione da analizzare apposita fustella calibrata; in nessun caso sarà possibile infiggere a mano la fustella. Il diametro dei provini dovrà in ogni caso essere maggiore di 6 volte il diametro massimo delle particelle costituenti il materiale in prova. Particolare importanza assume la preparazione delle facce terminali del provino che dovranno essere perfettamente piane e perpendicolari all'asse del provino. La preparazione del provino dovrà avvenire in ambiente ad umidità controllata in modo da evitare qualsiasi variazione al contenuto d'acqua iniziale.
Il provino così preparato sarà posizionato nella pressa di carico previa lubrificazione delle piastre di carico, al fine di evitare attriti tra le estremità del provino e le piastre di carico; in tale fase si avrà cura di centrare perfettamente il provino rispetto alle piastre di carico.
La velocità di deformazione adottata nella prova dovrà essere compresa tra 0.5 e 2 %/min.; durante l'applicazione del carico si procederà alla registrazione ad intervalli di tempo regolari del carico applicato e della corrispondente deformazione assiale, in modo da avere almeno 15 coppie di valori.
La prova dovrà in ogni caso essere protratta sino ad ottenere una deformazione assiale pari ad almeno il 15%.

Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- dimensioni del provino;
- peso di volume naturale;
- contenuto d'acqua iniziale;
- velocità di deformazione adottata;
- carico di rottura e corrispondente deformazione assiale;
- tabella di sintesi con i valori di carico e deformazione assiale registrati;
- diagramma carico assiale - deformazione assiale;
- documentazione delle misure effettuate;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo (bilancia, comparatori millesimali o trasduttori lineari di spostamento, anelli dinamometrici o trasduttori di carico) di data non anteriore di sei mesi alla data di prova.

6.3.4 PROVA DI COMPRESSIONE TRIASSIALE NON CONSOLIDATA - NON DRENATA (UU)

Generalità

La prova consiste nella determinazione della resistenza al taglio non drenata, espressa in termini di tensioni totali, e della relazione sollecitazione-deformazione di terreni coesivi sottoposti a condizioni di sollecitazione triassiale.

Normative e specifiche di riferimento

- ASTM D 2850 - 95 - Standard Test Method for Unconsolidated, Undrained Compressive Strength of Cohesive Soils in Triaxial Compression.

Modalità di prova

La prova sarà eseguita su tre provini cilindrici, di diametro non inferiore a 35 mm e rapporto altezza/diametro compreso tra 2 e 2.5, preparati con apposito tornietto campionatore a partire da campioni indisturbati; per materiali poco consistenti si potrà infiggere a pressione direttamente nel campione da analizzare apposita fustella calibrata; in nessun caso sarà possibile infiggere a mano la fustella. Il diametro dei provini dovrà in ogni caso essere maggiore di 6 volte il diametro massimo delle particelle costituenti il materiale in prova. Particolare importanza assume la preparazione delle facce terminali dei provini che dovranno essere perfettamente piane e perpendicolari all'asse dei provini. La preparazione del provino dovrà avvenire in ambiente ad umidità controllata in modo da evitare qualsiasi variazione al contenuto d'acqua iniziale.
La prova sarà condotta senza saturazione preliminare adottando tre diversi valori della tensione di confinamento (tensione di cella) stabiliti dalla Direzione Lavori.
La fase di compressione assiale sarà condotta adottando velocità di deformazioni comprese tra 0.3 e 1 %/min. in funzione delle caratteristiche di plasticità del materiale e sarà in ogni caso protratta sino al raggiungimento di valori della deformazione assiale non inferiori al 15 %.

Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- identificazione completa del campione e dei provini sottoposti a prova;
- dimensioni dei provini;
- peso di volume naturale;
- contenuto d'acqua iniziale dei provini;
- velocità di deformazione adottata;
- valore della pressione di cella adottata per ciascun provino;
- tabella di sintesi con i valori di sforzo deviatorico e deformazione assiale registrati per ciascun provino;
- diagramma sforzo deviatorico - deformazione assiale per ciascun provino;
- valori dello sforzo deviatorico e della deformazione assiale a rottura per ciascun provino;
- rappresentazione dello stato di sforzo a rottura espresso in termini di sforzi totali nel piano σ/τ a mezzo cerchi di Mohr con indicazione dell'inviluppo di rottura;
- indicazione del valore di resistenza al taglio del campione esaminato espresso in termini di tensioni totali dal parametro c_u;
- documentazione delle misure effettuate;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo (bilancia, comparatori millesimali o trasduttori lineari di spostamento, anelli dinamometrici o trasduttori di carico, manometri o trasduttori di pressione) di data non anteriore di sei mesi alla data di prova.

6.3.5 PROVA DI COMPRESSIONE TRIASSIALE CONSOLIDATA ISOTROPICAMENTE - NON DRENATA (CIU)

Generalità

La prova consiste nella determinazione dei parametri di resistenza in termini di tensioni totali ed efficaci di un campione di terreno sottoposto a condizioni di sollecitazione triassiale; la prova può inoltre essere utilizzata per la determinazione dei parametri di deformabilità non drenati.

Normative e specifiche di riferimento

- ASTM D 4767 - 88 - Standard Test Method for Consolidated-Undrained Triaxial Compression Test on Cohesive Soils

Modalità di prova

La prova sarà eseguita su tre provini cilindrici, di diametro non inferiore a 35 mm e rapporto altezza/diametro compreso tra 2 e 2.5, preparati con apposito tornietto campionatore a partire da campioni indisturbati; per materiali poco consistenti si potrà infiggere a pressione direttamente nel campione da analizzare apposita fustella calibrata; in nessun caso sarà possibile infiggere a mano la fustella. Il diametro dei provini dovrà in ogni caso essere maggiore di 6 volte il diametro massimo delle particelle costituenti il materiale in prova. Particolare importanza assume la preparazione delle facce terminali dei provini che dovranno essere perfettamente piane e perpendicolari all'asse dei provini. La preparazione del provino dovrà avvenire in ambiente ad umidità controllata in modo da evitare qualsiasi variazione al contenuto d'acqua iniziale.

La prova verrà condotta attraverso tre distinte fasi : saturazione, consolidazione e rottura.

Fase di saturazione: la saturazione preliminare sarà condotta attraverso l'applicazione di back- pressure in diversi gradini di pressione di entità variabile in funzione delle caratteristiche di consistenza dei terreni in prova e comunque mai superiori a 50 kPa; durante tutta la fase di saturazione si dovrà mantenere una differenza di pressione tra pressione di cella e back-pressure compresa tra 5 e 10 kPa al fine di evitare premature consolidazioni dei provini.

Dopo ogni gradino di saturazione, una volta raggiunta la completa stabilizzazione delle pressioni, si provvederà alla misura del grado di saturazione raggiunto attraverso la determinazione del parametro B; la fase di saturazione potrà essere conclusa solo quando il parametro B assumerà valori superiori a 0.95 in due successive determinazioni.

Fase di consolidazione: la fase di consolidazione sarà condotta incrementando la pressione di cella fino a raggiungere il prefissato valore della pressione di consolidazione da adottare per ciascun provino stabilito dalla Direzione Lavori. Dopo la stabilizzazione della pressione interstiziale conseguente l'incremento tensionale applicato si avvierà la fase di consolidazione consentendo il drenaggio e registrando le variazioni di volume ed eventualmente le variazioni di pressione interstiziale in funzione del tempo.

Dal diagramma variazione di volume - logaritmo del tempo, o in alternativa variazione di volume - radice quadrata del tempo, si determinerà il tempo di fine consolidazione t_{100} che sarà assunto come parametro base per il calcolo della velocità di rottura.

Fase di rottura: durante la fase di rottura, che avverrà in condizioni di drenaggio impedito si incrementerà progressivamente lo sforzo deviatorico, mantenendo fissa la pressione di cella, fino ad ottenere deformazioni assiali non inferiori al 15%. Al fine di assicurare una uniforme distribuzione ed equalizzazione della sovrappressione idraulica conseguente l'incremento tensionale, la velocità di deformazione v_r sarà stabilita sulla base del t_{100} di fine consolidazione e della deformazione attesa a rottura er secondo la seguente equazione:

$$v_r = (H_c * \varepsilon_r)/(15 * t_{100})$$

con H_c = altezza del provino al termine della fase di consolidazione
I valori di ε_r , funzione del tipo di materiale, risultano generalmente compresi tra un valore minimo del 2%, valido per terreni molto consistenti, sovraconsolidati, ad un valore massimo del 10-12% valido per terreni coesivi teneri.
Durante tutta la fase di rottura verranno monitorati e registrati ad intervalli di tempo opportuni, i valori di sforzo deviatorico, deformazione assiale e pressione interstiziale.

Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:
- identificazione completa del campione e dei provini sottoposti a prova;
- dimensioni iniziali dei provini;
- peso di volume naturale, contenuto d'acqua e grado di saturazione iniziale dei provini;
- tabella riassuntiva con i valori delle pressioni di cella e della back-pressure adottati durante la fase di saturazione, con indicazione del valore assunto dal parametro B al termine di ciascun gradino;
- valori della back-pressure e della pressione di cella adottati durante la fase di consolidazione per ciascun provino;
- tabella con i valori della variazione volumetrica e dei relativi tempi di acquisizione durante la fase di consolidazione per ciascun provino;
- diagramma variazione di volume - logaritmo del tempo, o in alternativa variazione di volume – radice quadrata del tempo per ciascun provino;
- valore del tempo di fine consolidazione t100 di ciascun provino;
- peso di volume, contenuto d'acqua e grado di saturazione di ciascun provino al termine della fase di consolidazione;
- dimensioni dei provini al termine della fase di consolidazione;
- velocità di deformazione adottata nella fase di rottura;
- peso di volume, contenuto d'acqua e grado di saturazione di ciascun provino al termine della fase di rottura;
- tabella di sintesi con i valori di sforzo deviatorico, deformazione assiale e pressione interstiziale registrati per ciascun provino in fase di rottura;
- diagramma sforzo deviatorico - deformazione assiale per ciascun provino;
- diagramma pressione interstiziale - deformazione assiale per ciascun provino;
- diagramma rapporto degli sforzi principali efficaci - deformazione assiale per ciascun provino;
- diagramma parametro A delle pressioni interstiziali - deformazione assiale per ciascun provino;
- valori dello sforzo deviatorico e della deformazione assiale a rottura per ciascun provino;
- rappresentazione del percorso di sollecitazione di tutti i provini sottoposti a prova espresso in termini di sforzi efficaci nel piano p'/q con indicazione dell'inviluppo di rottura;
- rappresentazione dello sforzo a rottura in termini di sforzi efficaci nel piano □□□□a mezzo di cerchi di Mohr con indicazione dell'inviluppo di rottura;
- indicazione del valore di resistenza al taglio del campione esaminato espresso in termini di tensioni efficaci dai parametri c' e □';
- documentazione delle misure effettuate;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo (bilancia, comparatori millesimali o trasduttori lineari di spostamento, anelli dinamometrici o trasduttori di carico, manometri o trasduttori di pressione) di data non anteriore di sei mesi alla data di prova.

6.3.6 PROVA DI COMPRESSIONE TRIASSIALE CONSOLIDATA ISOTROPICAMENTE - DRENATA (CID)

Generalità

La prova consiste nella determinazione dei parametri di resistenza in termini di tensioni efficaci di un campione di terreno sottoposto a condizioni di sollecitazione triassiale; la prova può inoltre essere utilizzata per la determinazione dei parametri di deformabilità drenati.

Normative e specifiche di riferimento

- A.G.I. (1994) - Raccomandazioni sulle Prove Geotecniche di Laboratorio - Prove di compressione triassiale su terre coesive

Modalità di prova

La prova sarà eseguita su tre provini cilindrici di diametro non inferiore a 35 mm e rapporto altezza/diametro compreso tra 2 e 2.5 preparati con apposito tornietto campionatore a partire da campioni indisturbati; per materiali poco consistenti si potrà infiggere a pressione direttamente nel campione da analizzare apposita fustella calibrata; in nessun caso sarà possibile infiggere a mano la fustella. Il diametro dei provini dovrà in ogni caso essere maggiore di 6 volte il diametro massimo delle particelle costituenti il materiale in prova. Particolare importanza assume la preparazione delle facce terminali dei provini che dovranno essere perfettamente piane e perpendicolari all'asse dei provini. La preparazione del provino dovrà avvenire in ambiente ad umidità controllata in modo da evitare qualsiasi variazione al contenuto d'acqua iniziale.

La prova verrà condotta attraverso tre distinte fasi : saturazione, consolidazione e rottura.

Fase di saturazione: la saturazione preliminare sarà condotta attraverso l'applicazione di back- pressure in diversi gradini di pressione di entità variabile in funzione delle caratteristiche di consistenza dei terreni in prova e comunque mai superiori a 50 kPa; durante tutta la fase di saturazione si dovrà mantenere una differenza di pressione tra pressione di cella e back-pressure compresa tra 5 e 10 kPa al fine di evitare premature consolidazioni dei provini.

Dopo ogni gradino di saturazione, una volta raggiunta la completa stabilizzazione delle pressioni, si provvederà alla misura del grado di saturazione raggiunto attraverso la determinazione del parametro B; la fase di saturazione potrà essere conclusa solo quando il parametro B assume valori superiori a 0.95 in due successive determinazioni.

Fase di consolidazione: la fase di consolidazione sarà condotta incrementando la pressione di cella fino a raggiungere il prefissato valore della pressione di consolidazione da adottare per ciascun provino stabilito dalla Direzione Lavori. Dopo la stabilizzazione della pressione interstiziale conseguente l'incremento tensionale applicato si avvierà la fase di consolidazione consentendo il drenaggio e registrando le variazioni di volume ed eventualmente le variazioni di pressione interstiziale in funzione del tempo.

Dal diagramma variazione di volume - logaritmo del tempo, o in alternativa variazione di volume - radice quadrata del tempo, si determinerà il tempo di fine consolidazione t_{100} che sarà assunto come parametro base per il calcolo della velocità di rottura.

Fase di rottura: durante la fase di rottura, che avverrà in condizioni di drenaggio consentito si incrementerà progressivamente lo sforzo deviatorico, mantenendo fissa la pressione di cella, fino ad ottenere deformazioni assiali non inferiori al 15%. Al fine di evitare l'insorgere di sovrappressioni idrauliche conseguenti l'incremento tensionale, la velocità di deformazione v_r sarà stabilita sulla base del t_{100} di fine consolidazione e della deformazione attesa a rottura ε_r secondo la seguente equazione:

$$v_r = (H_c * \varepsilon_r)/(15 * t_{100})$$

con H_c = altezza del provino al termine della fase di consolidazione

I valori di ε_r, funzione del tipo di materiale, risultano generalmente compresi tra un valore minimo del 2 %, valido per terreni molto consistenti, sovraconsolidati, ad un valore massimo del 10÷12 % valido per terreni coesivi teneri.
Durante tutta la fase di rottura verranno monitorati e registrati, ad intervalli di tempo opportuni, i valori di sforzo deviatorico, deformazione assiale e variazione volumetrica. Durante tutta la fase dirottura si monitorerà inoltre la pressione interstiziale al fine di controllare che non subisca variazioni superiori al 5 % rispetto al valore assunto al termine della fase di consolidazione.

Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- identificazione completa del campione e dei provini sottoposti a prova;
- dimensioni iniziali dei provini;
- peso di volume naturale, contenuto d'acqua e grado di saturazione iniziale dei provini;
- tabella riassuntiva con i valori delle pressioni di cella e della back-pressure adottati durante la fase di saturazione, con indicazione del valore assunto dal parametro B al termine di ciascun gradino;
- valori della back-pressure e della pressione di cella adottati durante la fase di consolidazione per ciascun provino;
- tabella con i valori della variazione volumetrica e dei relativi tempi di acquisizione durante la fase di consolidazione per ciascun provino;
- diagramma variazione di volume - logaritmo del tempo, o in alternativa variazione di volume – radice quadrata del tempo per ciascun provino;
- valore del tempo di fine consolidazione t100 di ciascun provino;
- peso di volume, contenuto d'acqua e grado di saturazione di ciascun provino al termine della fase di consolidazione;
- dimensioni dei provini al termine della fase di consolidazione;
- velocità di deformazione adottata nella fase di rottura;
- tabella di sintesi con i valori di sforzo deviatorico, deformazione assiale, variazione volumetrica e pressione interstiziale registrati per ciascun provino in fase di rottura;
- peso di volume, contenuto d'acqua e grado di saturazione di ciascun provino al termine della fase di rottura;
- diagramma sforzo deviatorico - deformazione assiale per ciascun provino;
- diagramma variazione volumetrica - deformazione assiale per ciascun provino;
- diagramma rapporto degli sforzi principali efficaci - deformazione assiale per ciascun provino;
- valori dello sforzo deviatorico e della deformazione assiale a rottura per ciascun provino;
- rappresentazione del percorso di sollecitazione di tutti i provini sottoposti a prova espresso in termini di sforzi efficaci nel piano p'/q con indicazione dell'inviluppo di rottura;
- rappresentazione dello sforzo a rottura in termini di sforzi efficaci nel piano σ/τ a mezzo di cerchi di Mohr con indicazione dell'inviluppo di rottura;
- indicazione del valore di resistenza al taglio del campione esaminato espresso in termini di tensioni efficaci dai parametri c' e φ';
- documentazione delle misure effettuate;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo (bilancia, comparatori millesimali o trasduttori lineari di spostamento, anelli dinamometrici o trasduttori di carico; manometri o trasduttori di pressione) di data non anteriore di sei mesi alla data di prova.

6.3.7 PROVA DI TAGLIO DIRETTO CONSOLIDATA - DRENATA

Generalità

La prova consiste nella determinazione dei parametri di resistenza al taglio in condizioni drenate di campioni di terreno sottoposti a sollecitazioni di taglio.

Normative e specifiche di riferimento

- ASTM D 3080 - 90 - Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions

Modalità di prova

La prova sarà eseguita su tre provini cilindrici o a sezione quadrata di diametro o lato non inferiore a 50 mm e rapporto diametro/altezza compreso tra 2 e 2.5 preparati con apposito tornietto campionatore a partire da campioni indisturbati; per materiali poco consistenti si potrà infiggere a pressione direttamente nel campione da analizzare apposita fustella calibrata; in nessun caso sarà possibile infiggere a mano la fustella. L'altezza dei provini dovrà in ogni caso essere maggiore di 6 volte il diametro massimo delle particelle costituenti il materiale in prova. Particolare importanza assume la preparazione delle facce terminali dei provini che dovranno essere perfettamente piane e perpendicolari all'asse dei provini. La preparazione del provino dovrà avvenire in ambiente ad umidità controllata in modo da evitare qualsiasi variazione al contenuto d'acqua iniziale.

La prova si articola nelle due distinte fasi di consolidazione e di taglio.

Fase di consolidazione: nella fase di consolidazione viene gradualmente incrementato il carico assiale applicato al provino fino al raggiungimento della pressione di consolidazione indicata dalla Direzione Lavori per ciascun provino. Durante la fase di consolidazione si monitoreranno le deformazioni assiali in funzione del tempo, in modo da poter stabilire la fine della fase di consolidazione primaria prima di ciascun incremento di carico, in analogia a quanto indicato per le prove edometriche ad incrementi di carico controllati. I valori delle deformazioni assiali in funzione del tempo relativi all'ultimo gradino di carico saranno registrati e diagrammati in funzione del logaritmo o della radice quadrata del tempo per la determinazione del t_{100} di fine consolidazione assunto come parametro base per il calcolo della velocità di rottura.

Fase di rottura: nella fase di rottura verrà gradualmente incrementato il carico orizzontale fino ad ottenere deformazioni orizzontali non inferiori al 20% del diametro iniziale del provino.

Al fine di evitare l'insorgere di sovrapressioni idrauliche conseguenti l'incremento tensionale, la velocità di deformazione v_r sarà stabilita sulla base del t_{100} di fine consolidazione e dello scorrimento orizzontale atteso a rottura δ_r secondo la seguente equazione:

$$v_r = \delta_r/(10*t_{100})$$

Per quanto riguarda i valori dello scorrimento a rottura, funzione del tipo di materiale in prova, si forniscono i seguenti valori indicativi:

SCORRIMENTO A ROTTURA

Tipo di terreno	*Scorrimento a rottura [mm]*
argille tenere	8
argille sovraconsolidate	2 ÷ 5
argille molto sovraconsolidate	1 ÷ 2
sabbie	1 ÷ 5

Durante la fase di rottura si monitoreranno e si registreranno ad opportuni intervalli temporali i valori di spostamento orizzontale, deformazione verticale e resistenza al taglio.

Ove indicato, al termine della fase di rottura si procederà alla determinazione della resistenza residua effettuando almeno cinque cicli completi di andata e ritorno della scatola di taglio fino a fondo corsa alla medesima velocità di scorrimento adottata per la determinazione della resistenza di picco (procedura completa), controllando in ogni caso che si sia raggiunta la completa stabilizzazione della curva resistenza al taglio - scorrimento orizzontale.
La resistenza residua può essere determinata anche attraverso l'esecuzione di 5 cicli di taglio veloci, condotti a velocità di scorrimento compresa tra 1 e 2 mm/min. fino a deformazioni del 20% per ciascun ciclo, e di un ciclo di taglio finale con misura della resistenza al taglio in funzione dello scorrimento orizzontale, condotto alla medesima velocità di scorrimento adottata per la determinazione della resistenza di picco (procedura semplificata).

Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- identificazione completa del campione e dei provini sottoposti a prova;
- dimensioni iniziali dei provini;
- peso di volume naturale, contenuto d'acqua e grado di saturazione iniziale e finale dei provini;
- tabella con la progressione di carico adottata in fase di consolidazione per ciascun provino;
- tabella con i valori della variazione di altezza e dei relativi tempi di acquisizione durante la fase di consolidazione per ciascun provino;
- diagramma deformazione verticale - logaritmo del tempo, o in alternativa deformazione verticale - radice quadrata del tempo per ciascun provino;
- valore del tempo di fine consolidazione t100 di ciascun provino;
- altezza dei provini al termine della fase di consolidazione;
- velocità di deformazione adottata nella fase di rottura;
- tabella di sintesi con i valori di resistenza al taglio, scorrimento orizzontale e deformazione verticale registrati per ciascun provino in fase di rottura;
- diagramma resistenza al taglio - scorrimento orizzontale per ciascun provino;
- diagramma deformazione verticale - scorrimento orizzontale per ciascun provino;
- eventuale diagramma cumulato resistenza al taglio - scorrimento orizzontale per la determinazione della resistenza residua;
- valori della resistenza al taglio e dello scorrimento orizzontale a rottura per ciascun provino;
- eventuali valori della resistenza al taglio residua e del relativo scorrimento orizzontale per ciascun provino;
- rappresentazione dello stato di sollecitazione a rottura ed eventualmente allo stato residuo di tutti i provini sottoposti a prova espresso in termini di sforzi efficaci nel piano σ/τ con indicazione dell'inviluppo di rottura;
- indicazione del valore di resistenza al taglio di picco ed eventualmente residua del campione esaminato espresso in termini di tensioni efficaci dai parametri c' e φ';
- documentazione delle misure effettuate;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo (bilancia, comparatori millesimali o trasduttori lineari di spostamento, anelli dinamometrici o trasduttori di carico) di data non anteriore di sei mesi alla data di prova.

7 PROVE SUI MANUFATTI

7.1 INDAGINI CON MARTINETTO PIATTO SINGOLO – MURATURA

Normative e specifiche di riferimento

- ASTM C1196 - C1197

Generalità

L'indagine con martinetto piatto singolo ha l'obiettivo di determinare lo stato di sollecitazione a compressione esistente su una porzione di muratura. Il risultato permette il confronto con la resistenza massima della muratura derivante dalla prova con martinetto piatto doppio o attraverso prove di laboratorio su porzioni di muratura.

L'indagine consiste nell'eseguire un taglio mediante una troncatrice circolare eccentrica ad anello diamantato per poi applicare sulle superfici interne del taglio una pressione nota che porti al ripristino delle condizioni iniziali.

L'esecuzione di un taglio piano in direzione normale alla superficie di un elemento provoca una richiusura dei lembi della fessura; introducendo un martinetto piatto all'interno della fessura (ossia introducendo un elemento metallico piano di forma semicircolare in cui si può iniettare olio a una pressione nota) è possibile riportare i lembi della fenditura nelle condizioni iniziali. Dalla forza esercitata dal martinetto, per ripristinare la situazione iniziale, è possibile individuare lo stato tensionale originariamente presente nella muratura con la seguente formula:

$$\sigma_e = p_o * K_m * A_m / A_t$$

dove:

σ_e = tensione di esercizio della muratura [MPa]

p_o = pressione di ripristino delle condizioni di deformazione [MPa]

K_m = coefficiente di taratura del martinetto

A_m = area del martinetto [cm^2]

A_t = area della superficie del taglio [cm^2]

Condizioni operative

Liberare dall'intonaco una porzione muraria di almeno 100x100 cm, facendo attenzione a non danneggiare il paramento murario sottostante. Verificare con un'indagine endoscopica preliminare, o con l'esecuzione di un carotaggio, la stratigrafia orizzontale del muro. La prova non è eseguibile in caso di murature "a sacco".

Procedura

Posizionare 3 sensori elettronici di misura, simmetricamente alla mezzeria, sopra la zona dove si effettuerà il taglio.

Un'ulteriore sensore di misura è posto sotto il taglio.

Collegare i trasduttori di spostamento all'unità d'acquisizione per la lettura in tempo reale durante il taglio.

Applicare sopra la porzione muraria da indagare un foglio di polietilene trasparente al fine di proteggere il muro e i trasduttori durante la fase di taglio.

Azzerare i sensori; procedere all'esecuzione del taglio mediante una sega circolare eccentrica ad anello diamantato.
Nel caso di murature regolari il taglio è fatto lungo il corso di mattoni.
Ispezionare l'interno del taglio e procedere, con apposito utensile, alla rimozione di eventuali residui.
Inserire il martinetto piatto collegato all'apposita centralina oleodinamica; aumentare gradualmente la pressione, con step da 1 bar, fino ad azzerare le deformazioni misurate dai trasduttori.
Vanno eseguiti almeno due cicli di carico e scarico.
Tutte le deformazioni vanno registrate su nastro cartaceo o supporto informatico.
Eseguire una foto della strumentazione applicata ed una durante l'esecuzione del taglio.
L'operazione va condotta da personale qualificato e certificato quale sperimentatore di questa tipologia di indagine.

Apparecchiatura

Martinetto piatto di forma semicircolare con larghezza di 35 cm e profondità di 25 cm.
Centralina oleodinamica o pompa manuale che consenta di mantenere una pressione costante entro l'1%.
Manometro di precisione classe 1 o trasduttore di pressione opportunamente calibrato con accuratezza dell'1%.
Il martinetto piatto deve essere corredato da certificato di taratura che attesti il coefficiente di rigidezza da utilizzare nella formula che consente la stima della tensione di esercizio.

Documentazione

Il resoconto di prova deve includere:

- nome dell'operatore;
- data e ora dell'esecuzione;
- identificazione inequivocabile della posizione di esecuzione;
- restituzione con tabella e grafico delle pressioni esercitate e delle deformazioni misurate;
- calcolo della tensione di esercizio della muratura.
- certificati di taratura della strumentazione utilizzata.

Allegare le foto della strumentazione applicata ed una eseguita durante l'esecuzione del taglio.

7.2 INDAGINI CON MARTINETTO PIATTO DOPPIO – MURATURA

Normative e specifiche di riferimento

- ASTM C1196 - C1197

Generalità

L'indagine con martinetto piatto doppio ha lo scopo di determinare il valore della resistenza a rottura di una porzione di muratura compresa tra i due martinetti piatti e di stimare il Modulo Elastico. L'indagine è eseguita successivamente alla prova con martinetto piatto nella stessa porzione muraria, in modo da associare alla tensione locale di esercizio quella massima a rottura.
L'esecuzione dei tagli avviene mediante troncatrice circolare eccentrica ad anello diamantato. L'indagine consiste nell'eseguire due tagli paralleli nella muratura a debita distanza, all'interno dei quali si inseriscono due martinetti piatti. In alcuni casi può rendersi necessaria l'esecuzione di due ulteriori tagli verticali a delimitare ulteriormente la zona di prova.
Mandando contemporaneamente in pressione i due martinetti, si provoca uno stato di tensione monoassiale nella porzione di muratura in esame, riproducendo una prova in condizioni simili a quelli di un test uniassiale convenzionale.
La misura degli spostamenti verticali va effettuata con trasduttori di deformazione collocati nella zona compresa tra i due martinetti. E' necessaria anche la misura dello spostamento orizzontale tra due punti nella zona a metà tra un taglio e l'altro.
Dalla forza esercitata dai martinetti per portare a collasso la muratura è possibile individuare la tensione di rottura con la seguente formula:

$$\sigma_r = p_r * \Sigma(K_m * A_{m/} A_t)/2$$

Dove:

σ_r = tensione rottura [MPa]

p_r = pressione di collasso [MPa]

K_m = coefficiente di taratura del martinetto

A_m = area del martinetto [cm^2]

A_t = area della superficie del taglio [cm^2]

Condizioni operative

Liberare dall'intonaco una porzione muraria di almeno 100x100 cm facendo attenzione a non danneggiare il paramento murario sottostante. Verificare con un'indagine endoscopica preliminare, o con l'esecuzione di un carotaggio, la stratigrafia orizzontale del muro; la prova non è eseguibile in caso di murature "a sacco". L'esecuzione dei tagli avviene mediante troncatrice circolare eccentrica ad anello diamantato.

Procedura

Eseguire due tagli paralleli nella muratura a debita distanza, indicativamente da 40 a 80 cm, a seconda della muratura; inserire all'interno i due martinetti piatti (in alcuni casi può rendersi necessaria l'esecuzione di due ulteriori tagli verticali a delimitare ulteriormente la zona di prova). Ispezionare l'interno dei tagli e procedere, con apposito utensile, alla rimozione di eventuali residui.
Posizionare 3 sensori elettronici di misura, simmetricamente alla mezzeria, collocati nella zona compresa tra i due martinetti. Un'ulteriore sensore di misura è posto sotto il taglio.

Collegare i trasduttori di spostamento all'unità d'acquisizione per la lettura in tempo; azzerare i sensori; aumentare gradualmente la pressione, con step da 1 bar.
La prova deve essere condotta con almeno due cicli di carico/scarico e spinta fin tanto che i sensori non identificano un cedimento repentino, o un andamento continuo di deformazione a carico costante, oppure la muratura non presenti segni di rottura riscontrabili con ispezione visiva.
Eseguire una foto della strumentazione applicata ed una durante l'esecuzione del taglio.
L'operazione va condotta da personale qualificato e certificato quale sperimentatore di questa tipologia di indagine.

Apparecchiatura

Due martinetti piatti di forma semicircolare con larghezza di 35 cm e profondità di 25 cm.
Centralina oleodinamica o pompa manuale che consenta di mantenere una pressione costante entro l'1%.
Manometro di precisione classe 1 o trasduttore di pressione opportunamente calibrato con accuratezza dell'1%.
I martinetti piatti devono essere corredati da certificato di taratura che attesti il coefficiente di rigidezza da utilizzare nella formula che consente la stima della tensione di collasso.

Documentazione

Il resoconto di prova deve includere:

- nome dell'operatore;
- data e ora dell'esecuzione;
- identificazione inequivocabile della posizione di esecuzione;
- restituzione con tabella e grafico delle pressioni esercitate e delle deformazioni misurate;
- certificati di taratura della strumentazione utilizzata;
- calcolo della tensione di rottura della muratura e del modulo elastico.

Allegare le foto della strumentazione applicata ed una eseguita durante l'esecuzione del taglio.

7.3 MISURA DELLO STATO DI TENSIONE TRAMITE ESTENSIMETRI

Normative e specifiche di riferimento

- ASTM E 837-01

Generalità

La prova consente di misurare la deformazione relativa e di calcolare lo stato di tensione locale preesistente in un elemento strutturale a causa delle azioni dirette (forze concentrate, carichi distribuiti, fissi o mobili) e indirette (spostamenti impressi, variazioni termiche e di umidità, ritiro, precompressione, cedimenti vincolari) cui esso è sottoposto. A tal fine si utilizzano gli estensimetri (strain-gauges) opportunamente incollati sulla superficie. L'individuazione della tensione preesistente avviene attraverso la misura della deformazione relativa ε dell'elemento a seguito del taglio parziale praticato nella zona d'interesse. La successiva trasformazione in tensione si ottiene attraverso la legge di Hooke:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon = E \cdot (\Delta L / L)$$

dove con E si indica il modulo elastico dell'acciaio.

Condizioni operative

La metodologia prevede il montaggio di una coppia di estensimetri alla stessa altezza e in posizione diametralmente opposta in modo tale da potere rilevare l'eventuale stato tensionale combinato di sforzo assiale e di momento flettente.

Procedura

Levigare con smerigliatrice e pulire con solvente la superficie dove va incollato l'estensimetro, controllando che non vi siano solchi; porre del nastro isolante alla base vicino alle saldature dell'estensimetro e del nastro trasparente sopra per proteggerlo dalla colla; applicare prima il solvente e subito dopo la colla; comprimere con forza un paio di minuti; preparare l'altro sensore e prima di installarlo staccare delicatamente il nastro dal primo; posizionare un cavo in modo da poter collegare elettricamente i due estensimetri; testare il perfetto funzionamento degli estensimetri con l'unità di acquisizione; proteggerli con agente chimico e nastro adesivo. Procedere alle misure e alla memorizzazione dei dati alle fasi previste della prova.

Procedere eseguendo una foto agli estensimetri prima della copertura con gli adesivi di protezione.

L'operazione va diretta da personale qualificato e certificato quale sperimentatore di questa tipologia di indagine.

Apparecchiatura

Estensimetri, prodotti per l'incollaggio dei sensori e la preparazione della superficie, smerigliatrice, carta abrasiva.

Documentazione

Il resoconto di prova deve includere:

- nome dell'operatore;
- data e ora della prova;
- descrizione dell'elemento da misurare;
- caratteristiche tecniche principali della strumentazione utilizzata;
- la procedura di incollaggio dei sensori;
- la posizione dei sensori;
- le condizioni atmosferiche prevalenti durante la rilevazione delle misure;
- i valori di deformazione misurati.

Allegare le foto degli estensimetri incollati.

7.4 PROVE DI CARICO PONTI IN MURATURA, C.A. E C.A.P

Normative e specifiche di riferimento

- D.M. 14/01/2008

Generalità

Scopo della prova è di misurare la deformazione della struttura, sottoposta ad un carico certo per determinarne, attraverso il Modulo Elastico, lo stato tensionale.
A tal fine possono essere utilizzate aste con dei trasduttori induttivi o trasduttori induttivi a filo.
I trasduttori hanno lo scopo di rilevare le deformazioni relative al punto su cui sono applicati. Sono costituiti da un corpo elastico con annegata una resistenza elettrica, il cui valore varia in maniera lineare con la sua deformazione.
Le aste (trasduttori a filo), appoggiate sul terreno o sulla soletta sottostante a quello da rilevare, sono portate a contatto con il soffitto; lo spostamento del cursore del trasduttore è rilevato dall'unità di acquisizione, che indica il valore su in tempo reale sullo schermo del computer.
Il cursore del sensore è portato meccanicamente in una posizione che garantisca l'eventuale misura entro il fondo scala del sensore utilizzato, generalmente il 10%, in modo da essere in grado di rilevare anche valori negativi.
Prima dell'inizio della prova tutti i sensori sono "azzerati" per ottenere una misura relativa derivata da quella assoluta tolto il valore di azzeramento.
Le aste telescopiche raggiungono generalmente una lunghezza massima di circa m 6,00 e i trasduttori applicati hanno una estensione variabile in 20 – 25 – 50 mm.
Il collegamento al computer avviene tramite una centralina.

Condizioni operative

A prescindere dalle caratteristiche tecniche degli strumenti utilizzati, nella rilevazione della freccia può intervenire la variazione termica che, influendo sia sulla struttura sia sugli strumenti, può portare l'errore a valori elevati.
Per ridurre al minimo l'errore di misura è necessario usare alcune accortezze:

- attendere, prima dell'inizio della prova, la stabilizzazione della temperature delle aste (filo);
- impiegare il minor tempo possibile fra l'inizio e la fine di un ciclo di carico;
- proteggere le aste (filo) dalle radiazioni solari dirette;
- utilizzare cavi di collegamento trasduttori – centralina di pari lunghezza per tutti gli strumenti.

L'uso di un sensore di riferimento termico è indispensabile se si prevede un carico di lunga durata.

Procedura

Riportare con precisione sull'intradosso da rilevare i punti di misura.
Posizionare le aste (filo) in posizione verticale sui punti di misura. Dopo l'installazione del sensore, testarlo singolarmente e numerarlo con numeri o lettere progressivi.
Una particolare attenzione va posta all'effetto "assestamento" della struttura. Il fenomeno è molto evidente se è la prima volta che la struttura viene sottoposta a carico.
Per valutare questo fenomeno è necessario sottoporre la struttura a più cicli di carico fino a che il valore massimo dell'ultimo ciclo corrisponde a quello precedente.
Eseguire il rilievo della prova di carico con lettura continua della strumentazione fino alla fine del ciclo di carico.
A fine ciclo verificare i dati registrati ed eseguire una copia di salvataggio.

L’operazione va eseguita o diretta da personale qualificato e certificato quale sperimentatore di questa tipologia di indagine.

Apparecchiatura

Vanno preferite unità di acquisizione ad alta sensibilità con capacità di memorizzazione dei segnali acquisiti e trasduttori in grado di rilevare spostamenti ≤ 0,01 mm.

Documentazione

Il resoconto di prova deve includere:

- nome dello sperimentatore;
- data e ora del montaggio;
- caratteristiche tecniche principali della strumentazione utilizzata;
- caratteristiche geometriche dell’elemento in prova;
- identificazione inequivocabile delle posizioni di misura;
- temperatura ambiente e del materiale in prova;
- andamento temporale dei valori rilevati sotto forma di tabella o grafico, cartaceo e supporto digitale.

7.5 PROVE DI CARATTERIZZAZIONE DINAMICA DELLE STRUTTURE

Normative e specifiche di riferimento

- UNI ISO 5348 per il montaggio meccanico degli accelerometri
- UNI 9916 per l'elaborazione dei dati acquisiti

Generalità

Le prove sono effettuate con l'obiettivo di valutare e collaudare il modello numerico utilizzato in fase di progetto, attraverso la determinazione sperimentale dei primi modi di vibrare della struttura.
Per caratterizzazione dinamica si intende la determinazione delle proprietà meccaniche di una struttura, ottenuta mediante la valutazione della risposta ad eccitazioni naturali o forzate. Tale risposta può essere ottenuta in termini di accelerazioni, velocità o spostamenti.
Esistono diversi sistemi per l'induzione delle vibrazioni sulle strutture:

- vibrazioni generate da forzanti (vibrodina) con un determinato contenuto in frequenza;
- vibrazioni ambientali (vento o microsismi) o attività antropiche (traffico veicolare, folla);
- vibrazioni libere, provocate da un'azione impulsiva applicata alla struttura; possono essere generate mediante il rilascio improvviso della struttura dopo averla sottoposta a una deformazione iniziale mediante martinetti o altri sistemi (prove di snap-back), oppure con impulsi trasmessi da un martello o dalla caduta di gravi.

Condizioni operative

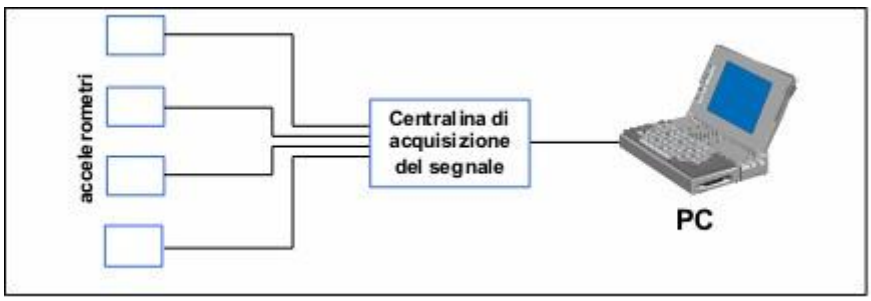
L'eccitazione dinamica può essere fornita mediante vibrodina opportunamente installata o da sistemi equivalenti.
E' buona norma condurre, in fase preliminare, acquisizioni di vibrazioni ambientali.

Apparecchiatura

- accelerometri sismici ICP di PCB Piezotronics di adeguata sensibilità
- sistema di acquisizione Rogas Daq
- computer portatile con programma di acquisizione DasyLab v. 7.0.

Procedura

Gli accelerometri vengono collegati via cavo alla centralina di acquisizione, a sua volta connessa tramite interfaccia USB al computer per la memorizzazione dei dati e le successive elaborazioni del segnale acquisiti.
La figura seguente illustra schematicamente il sistema utilizzato per l'acquisizione delle vibrazioni.

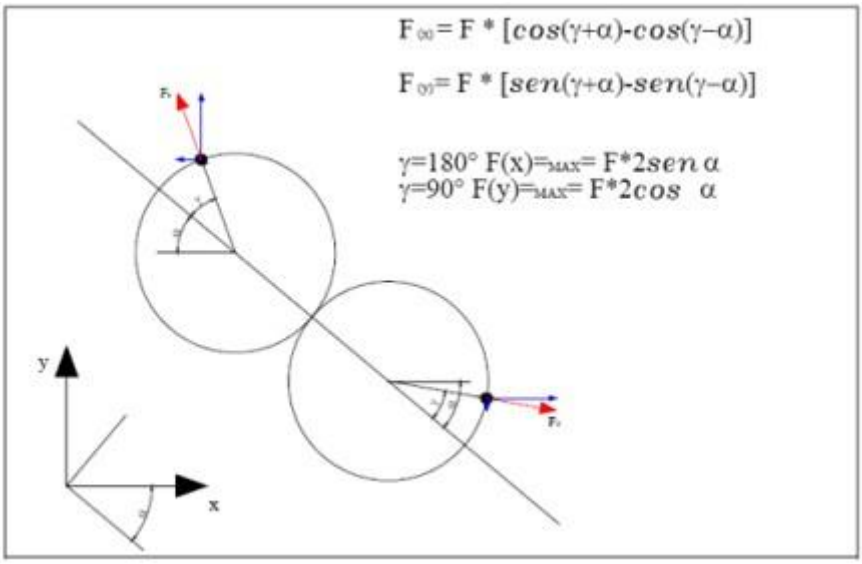


Il segnale, acquisito mediante la strumentazione sopra descritta, è costituito dalla "time history" delle accelerazioni misurate nel corso della prova.

Per ottenere, a partire da questi dati, le principali frequenze di vibrazione della struttura in campo elastico, è svolta un'analisi spettrale del segnale, mediante l'algoritmo di Welch per il calcolo della Trasformata di Fourier (FFT), ottenendo una rappresentazione del segnale nel dominio delle frequenze.
La disposizione degli accelerometri permette la registrazione della risposta strutturale in corrispondenza degli elementi interessati.

Prove ad input incognito
Le prove a input incognito (ambientali) vengono di solito condotte per identificare il modo fondamentale della struttura e al fine di validare i risultati ottenuti con vibrodina.
Le serie temporali registrate sono trasformate dal dominio del tempo al dominio delle frequenze, ricavando la "Densità Spettrale di Potenza" (PSD – Power Spectral Density).
La densità spettrale di potenza può essere stimata mediante l'algoritmo di Welch, tramite il modulo al quadrato della Trasformata di Fourier (FFT) del segnale.
Ogni elaborazione è svolta parzializzando il segnale, con una tecnica di windowing, in sezioni successive in parte sovrapposte tra di loro (overlapping), in modo da ottenere una riduzione della varianza ed una conseguente riduzione del rumore di fondo, così da evidenziare in maniera più nitida i picchi di frequenza corrispondenti ai principali modi di vibrare della struttura.

Prova ad input noto con vibrodina
Il principio di funzionamento della vibrodina è il seguente: due masse vengono calettate su dei grossi dischi messi in rotazione in verso opposto da un motore elettrico di sufficiente potenza, con la possibilità di variare il numero di giri dello stesso e quindi la frequenza di eccitazione.
Le due masse controrotanti sono causa di due forze centrifughe: le componenti orizzontali delle due forze si elidono a vicenda, mentre le componenti verticali si sommano dando origine ad una forza sinusoidale unidirezionale, lungo la perpendicolare all'asse dei due alberi su cui sono calettate le masse.



Per variare la frequenza della forza generata quindi, è sufficiente variare la velocità di rotazione del motore.
Tale forza sinusoidale viene trasmessa alla struttura da eccitare tramite i collegamenti tra il sistema di supporto della vibrodina e la struttura stessa.
La forzante generata, che verrà poi trasferita alla struttura, sarà di tipo sinusoidale.
Ovviamente, a causa di svariati motivi, quali rumore di fondo, non perfetto ancoraggio dello strumento alla struttura ed eventuali distorsioni dello strumento stesso, la forzante non risulterà perfettamente sinusoidale, ma lo sarà con ottima approssimazione.
Il motore è controllato da una centralina elettronica e tramite un inverter è possibile far variare la velocità di rotazione del motore e quindi delle masse.

Variando il numero delle masse calettate sui due dischi, è possibile variare la forza massima generata ad una data frequenza.



La forza generata dalla rotazione delle masse viene scaricata sul telaio della vibrodina (che deve essere tale da resistere alle sollecitazioni generate) e quindi scaricato alla struttura attraverso un sistema di fissaggio tra la struttura e il telaio. Questo può essere realizzato in vario modo con dei tasselli, tasselli chimici o barre filettate fissate con resina.
Ovviamente questa rappresenta la forza teorica generata dalla vibrodina in cui non si è tenuto conto di fenomeni dissipativi, inoltre occorre tener presente che tale forza non coincide con quella reale in ingresso alla struttura essendo quest'ultima minore in quanto parte dell'energia cinetica generata dalla rotazione delle masse viene dissipata in vario modo.
La prova con vibrodina è condotta per step successivi: per ciascuno step è applicata una forzante sinusoidale a frequenza nota sulla struttura osservandone la risposta. Per ciascuno step si attende che la risposta strutturale risulti stazionaria prima di procedere alla registrazione simultanea della risposta strutturale e dell'eccitazione. I dati così ottenuti sono successivamente utilizzati per calcolare la FRF delle strutture in punti discreti rappresentati dalla frequenza associata a ciascuna fase di carico.