

REGIONE UMBRIA

INTERVENTO DI RICOSTRUZIONE CON DELOCALIZZAZIONE DEL CIMITERO DI SANT'EUTIZIO, NEL COMUNE DI PRECI (PG) INSERITO NEL "SECONDO PROGRAMMA DEGLI INTERVENTI DI RICOSTRUZIONE, RIPARAZIONE E RIPRISTINO DELLE OPERE PUBBLICHE NEI TERRITORI DELLE REGIONI ABRUZZO, LAZIO, MARCHE ED UMBRIA INTERESSATI DAGLI EVENTI SISMICI VERIFICATISI A FAR DATA DAL 24 AGOSTO 2016", DI CUI ALL'ORDINANZA DEL COMMISSARIO STRAORDINARIO N. 67/2018. CUP: I 4 7 B 1 8 0 0 0 7 0 0 0 1 - C I G : 8 5 0 2 5 4 7 B B D .

PIANO DELLE INDAGINI

data

agosto 2021

Responsabile Unico del Procedimento: **ing. Elisabetta Aisa**

aggiornamento

Mandatario:

SPADAEASSOCIATIsrl
società di progettazione integrata

Arch. Marco Spada
Arch. Paolo Spada
Arch. Andrea Bragagna

Sede legale: via Padre Vicinio da Sarsina 42, Cesena
Mail: progettazione@spadaeassociati.eu
Pec: sa@pec.buda-spada.it

Mandanti:



Studio Tecnico Associato SDR
Arch. Alessandra Suraci
Geom. Ignazio Giuseppe Romano'



Studio Associato
Geologi Rondoni & Darder
Geol. Patrizia Rondoni
Geol. Matteo Darder

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

PI.R01

INDICE

1 - PREMESSA.....	2
2 - TABELLE DI SINTESI	5
3 - ASPETTI GENERALI	6
3.1 <i>Oneri particolari a carico del Committente.....</i>	<i>6</i>
3.2 <i>Oneri particolari a carico dell'Impresa.....</i>	<i>7</i>
4 - VOCI DI CAPITOLATO	8
4.1 <i>Impianto del cantiere.....</i>	<i>8</i>
4.2 <i>Perforazioni di sondaggio</i>	<i>8</i>
4.3 <i>Campionamenti.....</i>	<i>9</i>
4.4 <i>Standard Penetration Test (SPT)</i>	<i>10</i>
4.5 <i>Prove di permeabilità tipo Lefranc</i>	<i>14</i>
4.6 <i>Prospezione sismica di superficie MASW.....</i>	<i>21</i>
4.7 <i>Prospezioni tomografiche geoelettriche ERT.....</i>	<i>24</i>
4.8 <i>Piezometro a tubo aperto</i>	<i>25</i>
4.9 <i>Analisi di laboratorio</i>	<i>26</i>

1 - PREMESSA

Il presente elaborato si inserisce nell'ambito dell'incarico professionale per la progettazione del nuovo cimitero di Preci (PG) che è stato affidato al raggruppamento temporaneo (RTP) tra Spada e Associati srl, lo Studio Associato di Geologia Rondoni & Darder e lo Studio Tecnico Associato SDR.

Scopo della presente relazione è la definizione di un piano di indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche, finalizzato alla definizione del modello geologico e all'individuazione dei parametri geotecnici che saranno necessari alla progettazione.

La zona interessata dalla delocalizzazione del Cimitero di Sant'Eutizio di Preci, crollato a seguito degli eventi sismici del 2016 che hanno interessato la zona, ricade nella località Casale Cerreto.



Figura 1.1: Estratto di immagine satellitare con indicato, in rosso, l'area del nuovo cimitero.

L'area di progetto è interessata dalla presenza della Formazione geologica della Scaglia Rossa appartenente alla serie carbonatica Umbro-Marchigiana, litologicamente costituita da calcari micritici rosati, più raramente biancastri, alternati a interstrati pelitici molto sottili.

Di seguito viene riportato uno stralcio della Carta Geologica Regionale.

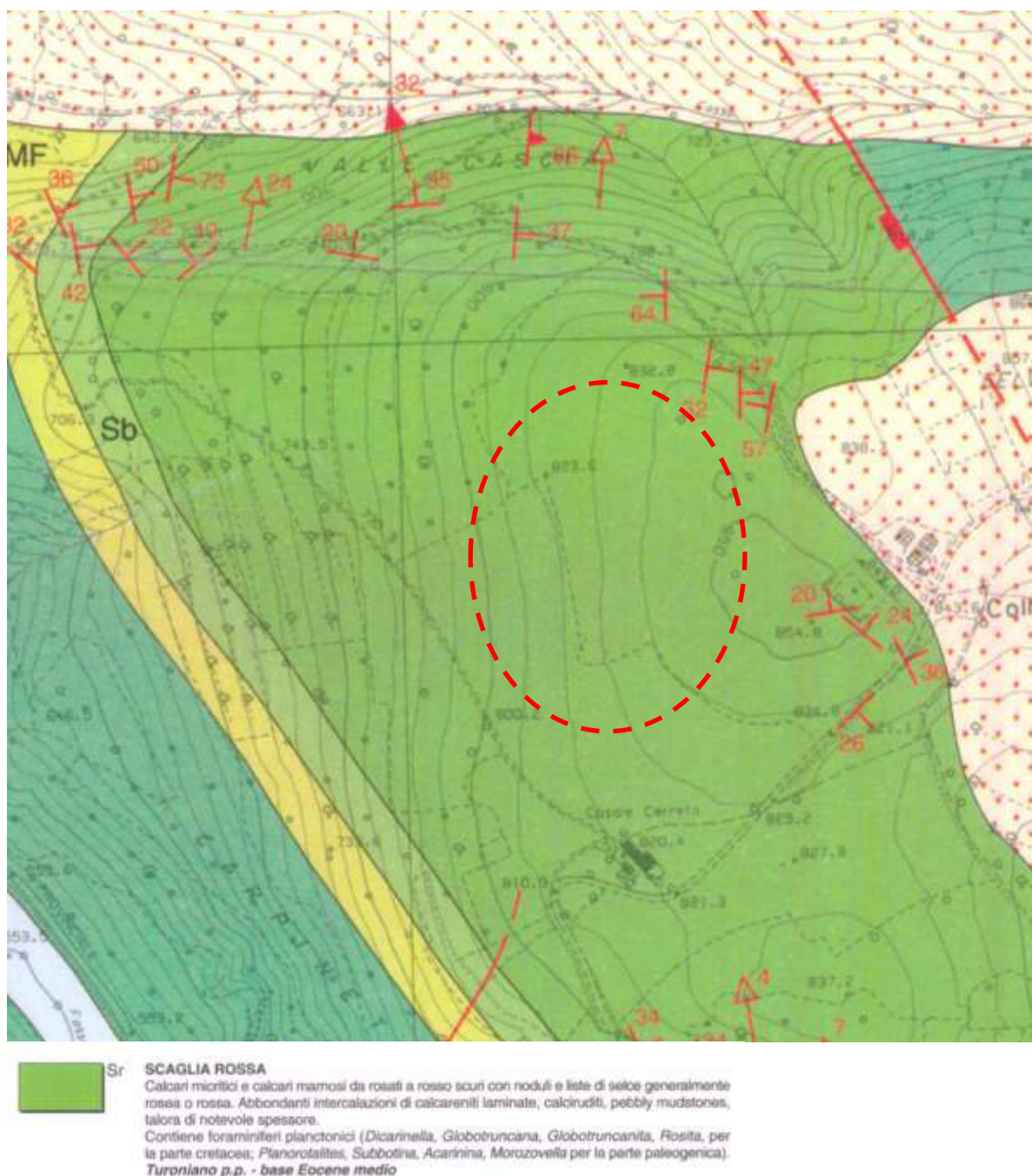


Figura 1.2: Estratto da Carta Geologica dell'Umbria Sez. 325090 – PRECI (fuori scala); nel cerchio rosso l'area di esame.

Catastalmente l'area ricade nel Foglio n° 27, part.74 ed ha una superficie complessiva di circa 0.85 ha.

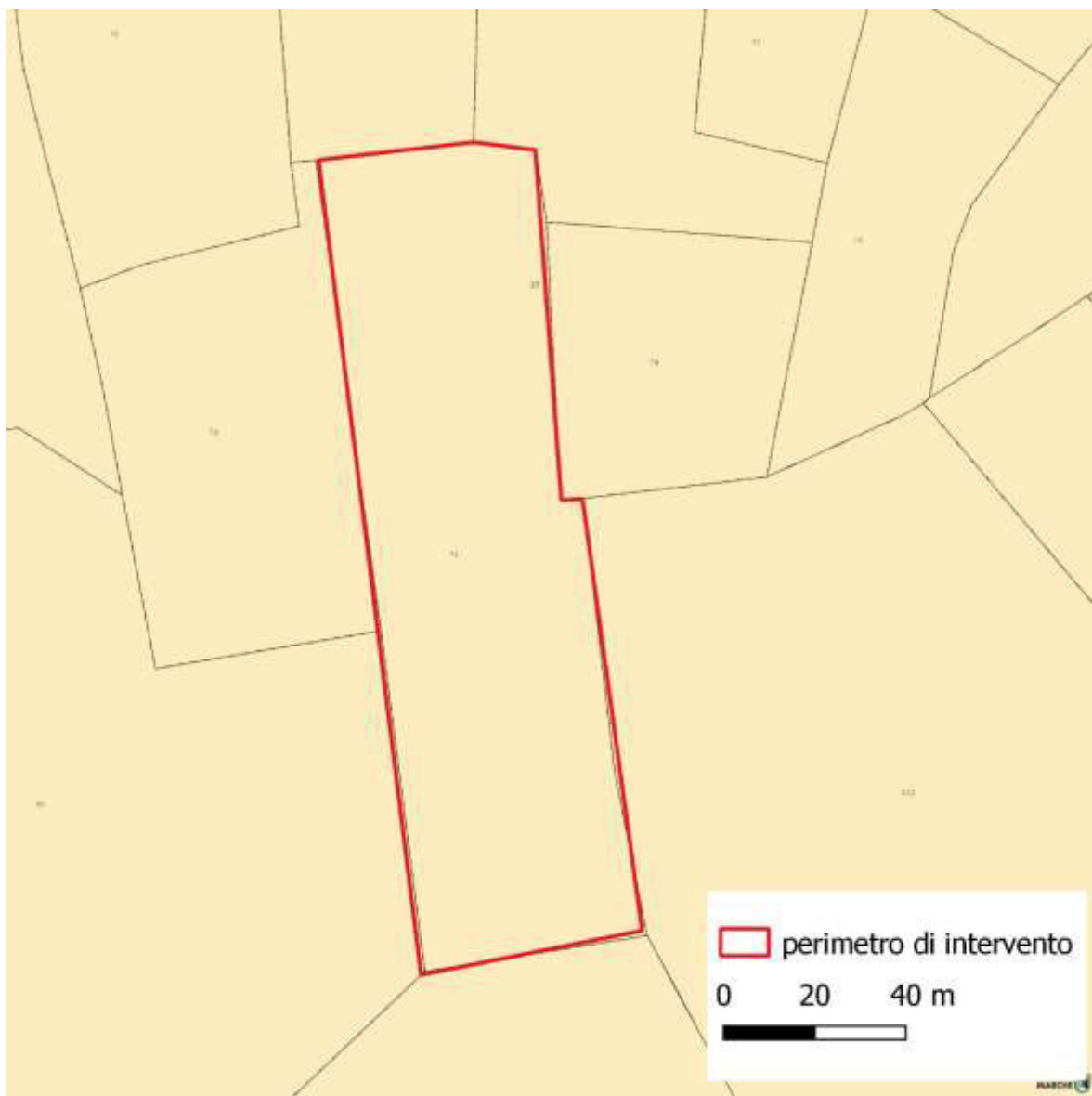


Figura 1.3: Estratto catastale Foglio 27 mappale 74.

Sulla base del sopralluogo e dei rilievi eseguiti nell'area è stata pianificata la campagna di indagini in sito ed in laboratorio, finalizzata a giungere ad una progettazione tecnicamente adeguata.

Nel paragrafo seguente sono indicate le indagini di campo e le analisi di laboratorio previste.

2 - TABELLE DI SINTESI

Tabella di sintesi n° 1 - INDAGINI IN SITO -

tipologia indagine	quantità	ubicazione
Sondaggi a carotaggio continuo	5 (L=15 m)	Vedi planimetria allegata
Prelievo di campioni nei sondaggi.	3 indisturbati (campionatura di eventuali livelli limoso-argillosi) 20 Rimaneggiati (da prove S.P.T. o spezzoni rocciosi di carote)	
Prove S.P.T. nel corso dei sondaggi	15	
Prova geofisica M.A.S.W.	1 (48 ml di stendimento)	
Indagine tomografica geoelettrica (ERT)	2 (376 ml di stendimento complessivi)	
Prova di permeabilità in foro (LeFranc)	4	

Tabella di sintesi n° 2 - ANALISI DI LABORATORIO -

tipologia analisi	Quantità	campione
Apertura di campioni, riconoscimento macroscopico e classificazione del materiale lapideo	3+20	Indisturbati + rimaneggiati
Determinazione della massa volumica reale ed apparente dei terreni Contenuto d'acqua naturale	3	indisturbati
Analisi granulometriche mediante settacciatura	10	rimaneggiati
Analisi granulometriche mediante sedimentazione	3	indisturbati
Prova di compressione semplice monoassiale	3	Rimaneggiati (spezzoni rocciosi di carote)
Prova di taglio in scatola di Casagrande	3	indisturbati
Determinazione dell'indice di resistenza (Point Load Strength Index)	3	Rimaneggiati (spezzoni rocciosi di carote)

3 - ASPETTI GENERALI

Il lavoro comprende l'esecuzione delle seguenti indagini:

N° 5 sondaggi geognostici spinti fino a 15 m di profondità; durante le perforazioni verranno prelevati campioni indisturbati e rimaneggiati da sottoporre ad analisi di laboratorio. Per permettere l'osservazione nel tempo della presenza di falda e del suo livello n°2 fori di sondaggio verranno attrezzati con piezometro a tubo aperto.

N° 4 prove di permeabilità Lefranc che saranno eseguite durante la perforazione di n° 2 fori di sondaggio.

N° 1 prova geofisica mediante stendimento MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves).

N° 2 indagini tomografiche elettriche di resistività ERT.

L'accesso all'area di intervento richiederà l'attraversamento di proprietà private; il Committente procederà all'ottenimento delle autorizzazioni all'occupazione delle stesse mentre l'Impresa esecutrice dovrà eseguire le lavorazioni ed i ripristini eventualmente necessari per permettere l'ingresso dei mezzi e delle attrezzature di lavoro.

L'ubicazione dei punti di indagine in sito è indicata nella planimetria allegata (elaborato PI.R02), eventuali spostamenti, anche modesti, rispetto alle posizioni scelte potranno rendersi necessari per particolari esigenze esecutive, tuttavia dovranno essere concordati con il Committente.

Le profondità di perforazione dei sondaggi, il numero di campioni da prelevare e gli altri quantitativi di analisi previste sono indicati nel capitolo 2 (Tabelle di sintesi 1 e 2) la loro modifica, determinata dalle condizioni del sottosuolo da investigare, richiede l'approvazione della D.L.

3.1 **Oneri particolari a carico del Committente**

Sono a cura ed a carico del Committente:

a) *le autorizzazioni necessarie alla occupazione delle aree per il raggiungimento dei punti d'indagine;*

b) *per ciascun punto di perforazione il preventivo accertamento della presenza sul suolo e nel sottosuolo di impedimenti di qualsiasi genere, che possano limitare l'agibilità delle attrezzature o essere danneggiati dalle operazioni di trivellazione; in tal caso il Committente dovrà provvedere ad eliminare gli impedimenti, o a proteggerli, o a far modificare la posizione del punto di lavoro, sollevando l'Impresa da ogni responsabilità per danni;*

c) *la messa a disposizione di un deposito per il ricovero e la idonea conservazione delle cassette catalogatrici contenenti le carote estratte dai sondaggi.*

3.2 *Oneri particolari a carico dell'Impresa*

Sono a cura ed a carico dell'Impresa (oltre alle prestazioni compensate con voci a parte):

- a) il trasporto ed il montaggio del cantiere, consistente nell'allestimento di un'area da dedicare a deposito, magazzino e officina nonché l'approvvigionamento di acqua;
- b) la formazione e manutenzione delle strade di accesso, il pagamento degli eventuali danni ai proprietari conseguenti ad imperizia o negligenza durante le lavorazioni;
- c) le operazioni di carico e scarico di tutte le attrezzature di cantiere;
- d) il trasporto ed il montaggio delle attrezzature sui punti di sondaggio, tutti gli spostamenti da un punto di sondaggio all'altro, l'eventuale fornitura di mezzi di trasporto e di traino;
- e) il trasporto delle cassette catalogatrici delle carote al deposito messo a disposizione dal Committente per la loro conservazione;
- f) la fornitura delle fustelle per il prelievo dei campioni indisturbati ed il loro recupero dal laboratorio geotecnico scelto dall'Impresa per l'esecuzione delle prove; la spedizione dei campioni dal cantiere al laboratorio;
- g) l'elaborazione dei risultati di tutte le prove e la fornitura dei relativi certificati;
- h) al Committente dovranno essere fornite n° 2 copie su supporto cartaceo e n° 1 copia su supporto digitale di tutti i risultati delle analisi eseguite.

4 - VOCI DI CAPITOLATO

4.1 Impianto del cantiere

L'impianto di cantiere compensa la predisposizione delle attrezzature per eseguire i sondaggi a carotaggio continuo, le indagini geofisiche MASW e quelle geoelettriche ERT, nonché le prove di permeabilità e quelle S.P.T. in foro.

In particolare, ogni eventuale pista di accesso o tracciolini di cantiere per accedere ai punti di prova sono a carico dell'Appaltatore.

Gli elementi fondamentali, oltre a quant'altro necessario per l'esecuzione delle prestazioni di contratto, sono di seguito riepilogati.

- Preparazione delle eventuali rampe di accesso e delle piazzole idonee all'installazione dell'attrezzatura di sondaggio su terreni accidentati, nei punti indicati dal Committente, compreso l'approvvigionamento idrico.
- Approntamento di attrezzatura a rotazione, in grado di perforare fino ad una profondità di almeno 20 m, dotata di:
 1. carotieri semplici o doppi di diametro compreso tra 60 ÷ 150 mm;
 2. colonne metalliche di rivestimento, di diametro compreso tra 130 e 150 mm;
- Installazione di attrezzatura per sondaggio a rotazione sulle piazzole indicate dal Committente e precedentemente allestite (aree pianeggianti accessibili ai normali mezzi di trasporto). Comprensiva dell'onere dello spostamento da un foro al successivo.

4.2 Perforazioni di sondaggio

Perforazione ad andamento verticale eseguita tramite sonda a rotazione mediante carotieri semplici o doppi a seconda della natura dei terreni attraversati, di diametro compreso tra 60 ÷ 150 mm, tali da rendere minimo il disturbo dei materiali e da consentirne il prelievo di campioni rappresentativi (carote). Per profondità di 15 m.

Sostegno delle pareti del foro, a seconda delle esigenze, con semplice circolazione d'acqua o con rivestimenti.

Eventuale impiego di rivestimenti metallici provvisori in fori eseguiti a carotaggio in terreni a granulometria grossolana quali ghiaie sabbiose, ghiaie e ciottoli (vedi classificazioni A.G.I.).

I campioni estratti dai carotieri (carote) andranno sistemati in apposite cassette catalogatrici atte alla loro conservazione. Su tali cassette si dovranno indicare in modo indelebile la quota della bocca foro (espressa in metri s.l.m.), il numero di sondaggio (come indicato nella planimetria allegata), le profondità di riferimento, la data di esecuzione del sondaggio e la località di esecuzione.

Nel corso della perforazione sarà rilevata la stratigrafia del terreno attraversato; in essa compariranno tutti gli elementi relativi ai campionamenti ed alle prove in situ ed una descrizione geotecnica approssimativa dei singoli strati attraversati, oltre alle eventuali note dell'operatore relative a perdite di circolazione, a rifluimenti in colonna, alla percentuale di carota ottenuta (RQD), ecc.; nella porzioni delle carote a granulometria fine (limi ed argille), subito dopo l'estrazione dal sottosuolo verranno eseguite misure speditive mediante poket penetrometer e vanetest.

All'inizio ed alla fine di ogni turno di lavoro verrà misurato il livello dell'acqua all'interno del foro, curando che fino alla quota della scarpa dei rivestimenti (se adoperati) il foro sia libero da materiali impermeabili.

Per ogni sondaggio dovrà essere prodotta documentazione fotografica ritraente sia il macchinario di perforazione nel punto di indagine che il terreno prelevato e posizionato nelle cassette catalogatrici.

4.3 Campionamenti

Per la classificazione dei campioni si farà riferimento a quanto previsto dalle Raccomandazioni A.G.I. (1977):

Caratteristiche geotecniche determinabili	Grado di qualità				
	Q.1.	Q.2.	Q.3.	Q.4.	Q.5.
a) Profilo stratigrafico	x	x	x	x	x
b) Composizione granulometrica		x	x	x	x
c) Contenuto d'acqua naturale			x	x	x
d) Peso dell'unità di volume				x	x
e) Caratteristiche meccaniche (resistenze, deformabilità, etc.)					x
	Campioni disturbati o rimaneggiati			a disturbo limitato	indisturbati

Ogni campionamento dovrà essere preceduto dalle seguenti operazioni:

1. adeguata stabilizzazione del foro eventualmente mediante rivestimento provvisorio o fluido di perforazione, con pulizia del fondo;
2. controllo della profondità dopo l'introduzione del campionatore;
3. ulteriore manovra di pulizia con metodi adeguati da definirsi in ogni caso specifico, qualora si accertasse la presenza di detriti sul fondo per un'altezza incompatibile con la lunghezza del campionatore. La tolleranza in tal senso potrà essere maggiore nel caso di apparecchi muniti di pistone e cioè chiusi alla base prima dell'infissione. Ultimata l'infissione, il

campionatore verrà estratto usando gli accorgimenti necessari per staccare il campione dal terreno sottostante e per ridurre il disturbo dovuto alla decompressione ed al risucchio.

Il campione indisturbato o a disturbo limitato dovrà essere conservato nello stesso tubo di prelievo, ripulito alle estremità, sigillato ermeticamente con paraffina fusa o tappi a tenuta e munito di etichetta (non degradabile con l'umidità) in cui siano indicati:

1. la designazione del Committente, del cantiere e del sondaggio (con indicata la quota sul livello del mare della bocca foro);
2. profondità del prelievo (da/a metri rispetto alla bocca foro);
3. data di prelievo;
4. tipo di campionatore e sue dimensioni;
5. metodo di infissione del campionatore;
6. lunghezza del campione, misurata prima della sigillatura;
7. classificazione macroscopica del terreno, per quanto risulta visibile all'estremità del campione;
8. altre eventuali osservazioni ritenute utili dall'operatore o misure complementari richieste dal Committente.

4.4 *Standard Penetration Test (SPT)*

Descrizione della prova

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

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

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

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

Normative e specifiche di riferimento

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

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

Campionatore

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

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

Aste

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

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

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

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.

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;

qualora il campionatore avanzi staticamente sotto il fondo foro per il proprio peso (aste+massa battente), tale penetrazione non dovrà essere considerata come penetrazione iniziale. In ogni caso la prova non potrà eseguirsi qualora il terreno penetri nel campionatore fino a raggiungere la valvola di non ritorno. Tali informazioni dovranno essere annotate nel report di prova;

ad estrazione avvenuta, aprire il campionatore, misurare e descrivere il campione prelevato, trascurando l'eventuale parte alta costituita da detriti, e quindi sigillarlo in un contenitore a tenuta d'aria (sacchetto o contenitore in plastica) che deve consentire l'esame del campione senza mescolamenti fra le varie parti. Qualora il campionatore risultasse vuoto, l'assenza del campione da spt andrà opportunamente segnalata nel modulo di prova.

Nella successiva manovra di carotaggio il materiale carotato alla quota di esecuzione dell'SPT andrà sempre riposto nella cassa porta carote alla quota corrispondente; con l'aggiunta di un'etichetta che indichi l'esecuzione della prova, con tanto di numerazione progressiva e profondità di prova.

Campionamento

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

1. nome identificativo della società
2. cantiere;
3. n° del sondaggio;
4. n° del campione;
5. profondità della prova;
6. lunghezza del campione;
7. data della prova;
8. n° di colpi per ogni singolo tratto di 15 cm.

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

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

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

Documentazione

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

Informazioni generali in accordo a quanto riportato precedentemente:

1. n° del sondaggio;
2. metodo e diametro di perforazione;
3. tipo di maglio e dispositivo di sgancio;
4. tipo di strumento (punta Raymond o punta chiusa)
5. diametro e peso per metro lineare delle aste;
6. diametro del rivestimento, se impiegato;
7. profondità della base del rivestimento, se impiegato;
8. profondità della falda e del fluido di perforazione nel foro;
9. profondità raggiunta con la manovra di perforazione e pulizia;
10. profondità di inizio della prova;
11. penetrazione iniziale per peso proprio delle aste del campionatore;
12. numero dei colpi necessari per l'infissione del tratto preliminare e dei tratti di prova;
13. lunghezza e descrizione geotecnica del campione estratto;
14. osservazioni e note eventuali.

4.5 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 (K_v) o una media tra le due ($\sqrt{K_h \cdot K_v}$).

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

Normative e specifiche di riferimento

- A.G.I. (1977) - Raccomandazioni sulla Programmazione ed Esecuzione delle Indagini Geotecniche
- CIRIA (1986) - Control of Groundwater for Temporary Works. Report 113. In ogni caso l'Impresa dovrà attenersi a quanto di seguito specificato.

Caratteristiche delle attrezzature

- Sonda freaticometrica;

- metro a nastro o asta graduata;
- ghiaia o ghiaino, da utilizzare quale dreno nel tratto di prova;
- 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);
- pompa sommersa e generatore di alimentazione per la realizzazione di prove in risalita;
- pompa (a cilindri, rotativa, ecc.) per l'immissione di acqua nel foro: può essere costituita dalla pompa di servizio della sonda di perforazione, o qualunque altra pompa accessoria purché di portata > 120 litri/minuto.

Modalità esecutive - operazioni preliminari

Dovranno essere tenuti presenti i seguenti aspetti fondamentali:

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

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

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

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

- Nel primo caso, la colonna interna verrà inserita oltre la base e per tutta la

profondità del tratto da provare. Si eseguirà quindi il lavaggio all'interno del rivestimento esterno e si immetterà da bocca foro il dreno di ghiaia fine estraendo tutto il rivestimento interno e scoprendo in tal modo il tratto di foro non rivestito da provare; il dreno sarà mantenuto appena sopra l'estremità inferiore del rivestimento esterno; in certi terreni (per esempio in sabbie fini) sarà necessario utilizzare un dreno più fine, quale ad esempio una sabbia medio-grossolana, per prevenire il parziale intasamento.

- Nel secondo caso, una volta eseguita la pulizia a fondo foro, senza mai oltrepassare la quota raggiunta dal rivestimento esterno, la colonna interna verrà estratta dal foro, si immetterà da bocca foro il dreno di ghiaia per un quantitativo idoneo all'altezza desiderata e, successivamente, si alzerà lentamente il rivestimento esterno per l'altezza necessaria a scoprire la tasca di prova.

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

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

Prova di permeabilità a carico idraulico variabile

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

Prova per immissione

Dovrà essere eseguita con le seguenti modalità:

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

proseguite fino a che il dislivello dell'acqua è inferiore ad 1/5 di quello all'inizio della prova.

Il coefficiente di permeabilità K (m/s) può essere determinato utilizzando le seguenti formule:

Metodo A (CIRIA, 1986)

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

dove:

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

F = fattore di forma che dipende dalla geometria della prova (m) Tr = tempo di riequilibrio (basic time-lag) (s).

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

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

Metodo B (AGI, 1977)

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

$$K_{medio} = \frac{\sum_{i=1-n} K_i}{n}$$

dove:

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

t_i = tempo i -esimo di lettura

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

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

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

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

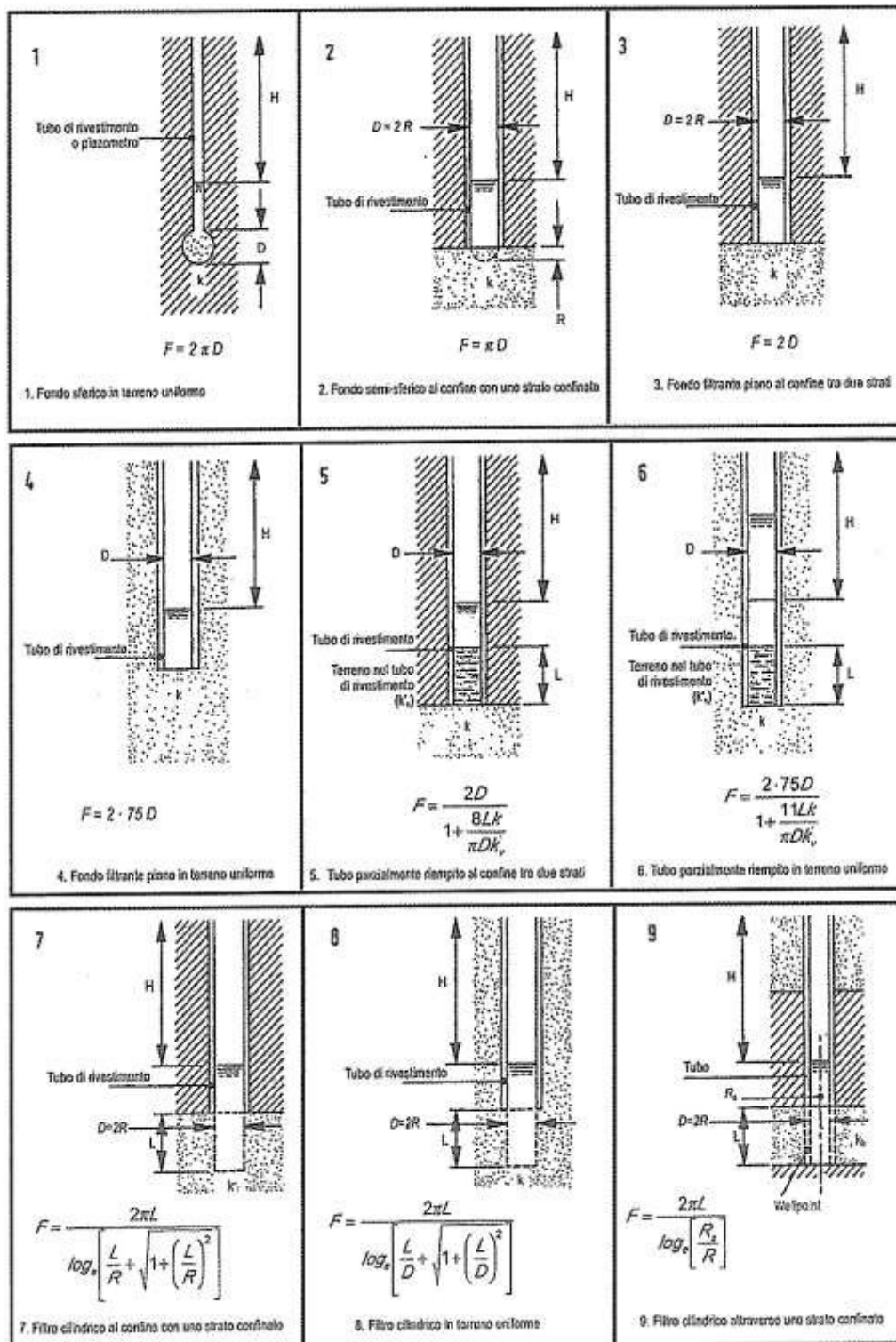
Prova per estrazione (o in risalita)

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

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

L'acqua viene estratta dal foro fino quasi alla quota della scarpa del rivestimento e le letture del livello dell'acqua vengono effettuate a diversi intervalli di tempo man mano che il livello risale nel foro. Le letture dovrebbero seguire gli stessi criteri indicati per la prova ad immissione, così come si anoteranno 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;
- misurare la portata immessa (o emunta) a regime idraulico costante con il contalitri di sensibilità pari a 0.1 l;
- mantenere le condizioni di immissione (o emungimento) a regime costante, senza variazione alcuna, per una durata minima di 10 minuti;
- controllare la costanza del livello piezometrico con la sondina elettrica (protetta dal contatto con l'acqua in caduta), se in profondità, e con un'asta graduata, se prossimo a bocca foro;
- controllare la costanza dell'altezza e la misura della portata: ogni 2 minuti (durata complessiva della prova 10 minuti) oppure ogni 5 minuti (durata complessiva della prova 30 minuti).

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

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

dove:

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

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

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

Documentazione

La documentazione di prova dovrà contenere i seguenti dati:

- informazioni generali;
- n° del sondaggio;
- schema geometrico del foro di sondaggio, diametro di perforazione e di rivestimento, profondità del rivestimento;
- descrizione litologica del tratto investigato;
- livello piezometrico della falda;
- metodo e attrezzature utilizzate per la preparazione del tratto di prova;
- modalità di prova (carico idraulico costante o variabile, per immissione o estrazione);
- profondità da p.c. del tetto e della base del tratto di prova;
- caratteristiche geometriche (diametro e lunghezza del tratto di prova non rivestito, diametro interno e profondità del rivestimento, carico idraulico costante o valore iniziale di carico idraulico per le prove a carico variabile);
- orario di inizio della prova;
- tabulati (su supporto cartaceo e informatico) con tutte le misure eseguite

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

4.6 *Prospezione sismica di superficie MASW*

Generalità

L'analisi spettrale delle onde di superficie, denominata SASW (Spectral Analysis of Surface Waves), o MASW (Multi-Spectral Analysis of Surface Waves) consiste nella energizzazione del terreno dalla superficie e nella registrazione delle onde di superficie (di tipo Rayleigh) in corrispondenza di una serie di geofoni allineati in asse con la sorgente.

Attraverso un procedimento di inversione della curva di dispersione prodotta si giunge alla ricostruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio V_s per la successiva determinazione dei moduli di elasticità tangenziali (G_0) a bassissimi livelli di deformazione.

La tecnica MASW si basa sulla registrazione delle onde di superficie in corrispondenza di una serie di geofoni a interasse fisso.

La metodologia consente di definire il profilo di velocità delle onde di taglio dei terreni; adottando diverse strumentazioni e diversi protocolli sperimentali la prospezione può essere applicata a:

- caratterizzazione delle pavimentazioni e del corpo dei rilevati stradali,
- caratterizzazione di terreni in superficie o in profondità, fino a qualche decina di metri, anche per la determinazione del V_{s30} (velocità delle onde di taglio V_s nei primi 30 m di profondità).

Caratteristiche delle attrezzature

Le attrezzature necessarie per la prova sono:

- cordella metrica e strumenti per la pulizia e preparazione della superficie del terreno;
- sistema di energizzazione di tipo impulsivo, costituito normalmente da mazze di massa variabile fino a circa 8-10 kg, in relazione alla lunghezza degli stendimenti. L'eventuale ricorso ad altri tipi di sorgente, non impulsive, di tipo armonico o a frequenza variabile, dovranno essere preventivamente autorizzate dalla direzione lavori;

- un sismografo multicanale; caratterizzato da un numero di canali uguale o superiore alle stazioni geofoniche installate, dotato di memoria di massa e in grado di consentire la registrazione digitale dei segnali. La frequenza di campionamento dovrà essere ad ampio spettro: 10 - 1000 Hz per la caratterizzazione di terreni naturali, a profondità variabile; 10 - 10000 Hz per la caratterizzazione delle pavimentazioni e strati superficiali di fondazione;
- serie di sensori in grado di misurare il campo di moto nella direzione verticale, costituiti da: geofoni con frequenza pari a 4.5 Hz per la determinazione delle onde in terreni a profondità maggiore di qualche metro dalla superficie accelerometri o geofoni con frequenza pari a 60 Hz (o superiore) per la caratterizzazione delle pavimentazioni e degli strati superficiali di sotto-fondazione, fino a qualche metro di profondità;
- software di elaborazione e inversione del segnale.

Modalità esecutive

La superficie di appoggio su cui verrà realizzato l'allineamento verrà preventivamente regolarizzata, asportando eventuale vegetazione.

La procedura di prova prevede la disposizione di una serie di ricevitori (geofoni o accelerometri), in numero variabile lungo un allineamento sulla superficie della verticale da investigare.

La prova si esegue trasmettendo da una sorgente al terreno una forza di tipo impulsivo, attraverso il sistema di energizzazione a massa battente.

La sorgente sarà ubicata alternativamente su entrambi gli estremi dell'allineamento. Ciò consente di ottenere una compensazione di eventuali distorsioni di fase interne dei geofoni, e una parziale riduzione degli effetti dovuti a discontinuità locali o a stratificazioni leggermente inclinate del deposito.

Il campionamento temporale dovrà garantire che tutto il treno d'onda relativo alla propagazione delle onde superficiali sia registrato, quindi la durata dell'acquisizione dovrà essere maggiore o uguale al tempo necessario per l'armonica più lenta a raggiungere il sensore più lontano. L'intervallo di campionamento dovrà garantire la stima delle armoniche di interesse in base alle regole del campionamento (frequenza di campionamento almeno doppia - meglio se pari a cinque volte - della frequenza più alta da registrare).

La prova si eseguirà secondo la procedura descritta di seguito:

- Sulla traccia da investigare si dispone una serie di almeno 24 geofoni a frequenza propria di 4.5 Hz, ad una distanza intergeofonica opportunamente prefissata e calibrata; va ricordato che il campionamento spaziale deve consentire di stimare affidabilmente le lunghezze d'onda di interesse. In particolare, la lunghezza dello stendimento di misura non deve essere inferiore alla metà della massima lunghezza d'onda e la distanza intergeofonica deve essere metà della minima lunghezza d'onda;

- In via cautelativa si potranno considerare adeguate le seguenti distanze intergeofoniche: $X = 0.1$ m per profondità di indagine prossime a 1 m (pavimentazioni); $X = 1$ m per profondità pari a circa 10 m; $X = 2$ m per profondità pari a circa 30 m; $X = 5-10$ m per profondità pari a circa 100 m;
- si esegue l'energizzazione della sorgente (sorgente DIRECT) posta ad un estremo dell'allineamento (secondo la distanza D con il primo geofono), e la si ripete più volte controllando la qualità dei dati acquisiti; La distanza D tra sorgente e primo geofono sarà scelta e ottimizzata dopo aver eseguito alcune energizzazioni preliminari;
- si sposta la sorgente di energizzazione all'estremo opposto (sorgente INVERSE), sempre secondo una distanza con l'ultimo geofono pari a D, e si ripete nuovamente la serie di energizzazioni.

Elaborazione dei dati

Una volta completata la caratterizzazione in sito della verticale di indagine e definita la curva di dispersione sperimentale tra velocità di fase e lunghezze d'onda, si esegue il processo di inversione, per giungere alla definizione di un modello numerico e della corrispondente curva di dispersione numerica.

Il processo di inversione verrà realizzato con software dedicato, attraverso una procedura iterativa: andrà ipotizzato un profilo stratigrafico verticale di prima ipotesi caratterizzato da determinati spessori di terreno e dati valori del coefficiente di Poisson e della densità. Qualora siano disponibili sezioni stratigrafiche o misure in sito acquisite nelle vicinanze verranno utilizzate come termine di confronto e taratura dei parametri di input.

Il processo di iterazione verrà ripetuto variando opportunamente i parametri di input, e sarà concluso una volta giunti ad un modello che presenti una curva di dispersione numerica assimilabile con buona approssimazione a quella sperimentale. Il profilo di velocità delle onde di taglio V_s così ottenuto, sarà quindi utilizzato per stimare la variazione del modulo di Taglio G_0 in funzione della profondità.

Documentazione

La documentazione di ciascuna indagine dovrà comprendere:

- caratteristiche prestazionali delle attrezzature impiegate (sismografo, geofoni o accelerometri, software di elaborazione);
- tipo e caratteristiche delle sorgenti di impulso utilizzate;
- configurazione geometrica utilizzata e distanze adottate tra i ricevitori e la sorgente;
- esempi di dati sperimentali grezzi e di elaborazioni intermedie (sismogrammi e spettri f-k o f-v)
- curva di dispersione sperimentale indicante velocità di fase delle onde di superficie - frequenza;

- curva di dispersione teorica;
- indicazione della schematizzazione verticale del terreno utilizzata al termine del processo di inversione (spessori, Poisson, densità);
- rappresentazione grafica e tabulare dei valori delle onde di taglio VS e dei moduli di taglio G0 in funzione della profondità;
- sezione interpretativa con elaborazione a isolinee o a campi di colore;
- documentazione fotografica del sito di indagine testato.

4.7 *Prospezioni tomografiche geoelettriche ERT*

Generalità

Questo tipo di indagine, che può essere eseguita con diverse configurazioni (Wenner, dipolo- dipolo o Schlumberger), può essere realizzata con un set di elettrodi (a partire da un minimo di 16 fino a 64 elettrodi), distribuiti lungo un profilo a distanza variabile (generalmente da uno a cinque metri). Gli elettrodi sono collegati tra loro in modo da poter funzionare alternativamente come elettrodi di corrente o di misura.

L'indagine permette di ricavare valori di resistività apparente a differenti profondità e ubicazioni lungo il profilo di prova. Può essere utilizzata per redigere le mappe di isoresistività, per individuare superfici stratigrafiche, cavità sotterranee o la profondità di un acquifero.

Caratteristiche delle attrezzature

L'attrezzatura di prova dovrà essere costituita dai seguenti componenti:

- georesistivimetro con millivoltmetro (sensibilità massima 0.1 mV), circuito di azzeramento dei potenziali spontanei e milliamperometro con scala 1 mA - 2 A (sensibilità 0.1 mA);
- generatore con almeno 1.5 kW di potenza (uscita 500 V);
- cavi elettrici di collegamento a 25 conduttori;
- almeno 48 elettrodi di corrente in acciaio;
- elettrodi di tensione impolarizzabili, in rame o ceramica;
- cavi di collegamento vari ed accessori.

Modalità esecutive

La tomografia elettrica potrà essere eseguita con una configurazione Wenner, dipolo-dipolo o Schlumberger, ma dovranno essere utilizzati non meno di 48 elettrodi con un passo di misura di 4.0 mt (la profondità di esplorazione può ritenersi mediamente pari a 1/6 della lunghezza totale dello stendimento).

Per l'interpretazione dei risultati dovranno essere utilizzati software, ad elementi finiti e con inversione del modello.

Al fine di consentire un controllo della bontà dell'interpretazione, oltre alle resistività sintetiche dovranno essere restituite anche le resistività di campagna; dovrà essere riportato inoltre il fitting proprio dell'inversione del modello.

Documentazione

La documentazione di ciascuna indagine dovrà comprendere:

- tabulazione dei valori di resistività apparente misurati;
- copia di tutti i dati raccolti in campagna;
- elaborazione tomografica a isolinee o a campiture di colore dei valori di resistività;
- relazione riassuntiva con descrizione dettagliata delle attrezzature impiegate, delle modalità operative e dei metodi di interpretazione.

4.8 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
- EN ISO 22475-1 - Geotechnical Investigation and Testing - Sampling Methods and Groundwater measurements - Part 1: Technical Principles for Execution.

Caratteristiche della strumentazione

La strumentazione da installare nel foro dovrà essere costituita da un tubo piezometrico in PVC, di diametro interno compreso tra 1½" e 4", costituito da una serie di spezzoni ciechi e filtranti di lunghezza variabile tra 1.5 e 3 m; gli spezzoni filtranti del tubo saranno fenestrati orizzontalmente e, quando richiesto, rivestiti con apposita calza in tessuto non tessuto; i diversi spezzoni di tubo dovranno essere giuntati attraverso appositi manicotti filettati.

L'utilizzo di tubi piezometrici di materiali o dimensioni diversi da quelli descritti dovrà essere subordinato ad approvazione da parte della D.L..

Preparazione del foro

La perforazione del foro di sondaggio in cui andrà installato il piezometro dovrà essere eseguita utilizzando, come fluido di circolazione, acqua oppure fango a polimeri degradabili. L'uso di fango bentonitico non è ammesso.

Se il piezometro non deve essere posato a fondo foro, il foro dovrà essere riempito, ritirando man mano il rivestimento, fino ad una quota di 2 m più bassa di quella di installazione, con ghiaia fine o sabbia, tramite versamento da bocca foro, avendo cura di effettuare un riempimento graduale e continuo, senza creare cavità intermedie.

4.9 Analisi di laboratorio

Normative e specifiche di riferimento

Le prove dovranno essere effettuate facendo riferimento alle più importanti normative nazionali e internazionali esistenti (C.N.R. - U.N.I. - A.S.T.M. - B.S.) e alle raccomandazioni A.G.I.

Nello specifico:

- A.G.I. (1977) "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche";
- A.G.I. (1994) "Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio";
- norma CNR UNI 10010/64 "Prove sulle terre. Peso specifico di una terra";
- norma CNR UNI 10014/64 "Prove sulle terre. Determinazione dei limiti di consistenza (o di Atterberg) di una terra".
- U.S.A. – ASTM D421 - D2217 per l'analisi granulometrica mediante vagliatura.
- U.S.A. – ASTM D5731 per la prova di compressione puntuale Point Load Test.

Analisi granulometrica

Analisi granulometrica su terreni non coesivi, per setacciatura, con l'impiego di crivelli della serie UNI 2234 per la frazione ghiaiosa e di setacci della serie UNI 2232 per la frazione sabbiosa, o in alternativa di setacci di altra serie (ASTM, BS, DIN, AFNOR), con apertura all'incirca corrispondente.

Analisi granulometrica su terreni coesivi (passante al setaccio di apertura 0.075mm), per sedimentazione con l'impiego di densimetro per la misura, ad intervalli di tempo prefissati, della densità di una sospensione di terra e acqua distillata.

Metodologia di analisi in funzione della composizione del terreno (secondo Norme UNI e Raccomandazioni AGI 1994):

1. per via secca;
2. per via umida.

La documentazione di prova deve riportare i seguenti dati:

1. committente;
2. cantiere;
3. numero del foro di sondaggio;
4. metodologia di analisi;
5. dimensione della particella maggiore;
6. curva granulometrica.

Contenuto d'acqua e pesi di volume

Prova per la determinazione del contenuto d'acqua e dei pesi di volume, allo stato naturale e allo stato secco (secondo Norme UNI).

La documentazione di prova deve riportare i seguenti dati:

1. committente;
2. cantiere;
3. numero del foro di sondaggio;
4. metodologia di analisi;
5. tabelle dei dati e valori dei parametri calcolati.

Limiti di Atterberg

Determinazione dei limiti di Atterberg, di liquidità e di plasticità (secondo Norme UNI).

La documentazione di prova deve riportare i seguenti dati:

1. committente;
2. cantiere;
3. numero del foro di sondaggio;
4. metodologia di analisi;
5. tabelle dei dati e valori dei parametri calcolati.

Prove di taglio diretto

Per la valutazione della resistenza al taglio di terreni coerenti o incoerenti, l'Esecutore, su disposizione del Direttore dell'esecuzione, può effettuare la prova di taglio diretto con la scatola di Casagrande di forma quadrata. Tale prova, che dovrà essere eseguita obbligatoriamente in condizione drenate (CD), sarà valida se sviluppata su almeno tre provini consolidati.

Ciascun provino, consolidato sotto un diverso carico verticale per il tempo necessario affinché i comparatori raggiungano la stabilizzazione, dovrà essere sottoposto a sforzo di taglio sino al punto di rottura, lungo un piano orizzontale mediano definito tra i due telai sovrapposti alla scatola. La velocità della prova dovrà essere ricavata in relazione all'altezza del provino, al coefficiente di consolidazione e ad un coefficiente adimensionale, funzione delle condizioni di drenaggio del provino. In pratica dovrà essere realizzata preliminarmente una prova di rilassamento, applicando un carico verticale al quale corrisponderà una

pressione neutra ed attendendo l'esaurimento della fase di consolidazione. Diagrammando le deformazioni di volume sul logaritmo del tempo è possibile stimare la velocità di rottura da applicare.

I risultati delle prove dovranno essere trasferiti in un elaborato comprendente, oltre a tutti i dati fisici e d'individuazione del campione, i seguenti diagrammi:

- Diagramma sforzo di taglio – pressione verticale;
- Diagramma sforzo di taglio – spostamento;
- Diagramma deformazione verticale – deformazione orizzontale.

Prova di compressione puntuale: Point Load Test

Con questa prova si fornisce un indice di resistenza per la classificazione del materiale roccioso. Vengono effettuati i seguenti tipi di prove:

- La prova Diametrica;
- La prova Assiale;
- La prova su blocchetti e spezzoni irregolari

Prova diametrica

La prova si articola nei seguenti punti:

1. Preparare i campioni da carota in modo che il rapporto lunghezza diametro sia maggiore di 1.
2. Se possibile effettuare 20 prove per campione.
3. Collocare il provino nell'apparecchiatura ed accostare i punzoni lungo un diametro della carota.
4. Assicurarsi che la distanza L tra i punti di contatto e la più vicina estremità libera sia almeno 0.5 volte il diametro della carota. Si annota la distanza con uno scarto del $\pm 2\%$.
5. Incrementare il carico uniformemente in modo da provocare la rottura in un periodo di tempo da 10 a 60 secondi.
6. Registrare il valore del carico di rottura P.
7. La prova viene ritenuta valida se la superficie della frattura passa per entrambi i punti di applicazione del carico.

Prova assiale

La prova si articola nei seguenti punti:

1. Preparare i campioni da carota in modo che il rapporto tra lunghezza e diametro sia compreso tra 0.3 e 1.0.
2. Se possibile effettuare 20 prove per campione.

3. Collocare il provino nell'attrezzatura e i punzoni vengono portati a contatto lungo una direzione perpendicolare alle superfici terminali della carota (nel caso di rocce isotrope all'asse della carota, mentre per rocce anisotrope parallelamente e perpendicolarmente ai piani di anisotropia).
4. Annotare la distanza L tra i punti di contatto dei punzoni con uno scarto del $\pm 2\%$; mentre la larghezza W del provino, perpendicolarmente alla direzione di carico, viene misurata a meno del 5%.
5. Incrementare il carico uniformemente in modo tale che la rottura avvenga in 10-60 secondi e registrare il valore del carico di rottura p .
6. La prova viene invalidata se la superficie di frattura passa Solo attraverso uno dei punti di carico.

Descrizione degli strumenti

- Macchina specifica per point load con punte, manometro del carico applicato, misuratore di distanza tra le punte
- Materiale per la preparazione dei provini (seghe, scalpelli, martello ecc)
- Calibri

Prove di compressione semplice

Per la determinazione della coesione non drenata in terreni limo-argillosi può essere richiesta, dietro approvazione del Direttore dell'esecuzione, la prova di compressione semplice del tipo a dilatazione laterale libera (ELL o prova U). Per tale prova dovrà essere confezionato un provino cilindrico di diametro 1"1/2 o 2" ed altezza non inferiore ad una volta e mezza il suo diametro, da sottoporre a compressione monoassiale crescente.

A tale scopo il provino dovrà essere interposto tra due piattelli in una presetta idonea a comprimerlo con velocità di avanzamento tale da provocare una deformazione compresa tra lo 0.5 e l'1% dell'altezza del provino per ogni minuto primo. Durante la prova, ad intervalli prefissati, su comparatori dovranno essere lette le deformazioni assiali ed i carichi corrispondenti.

Nelle rocce lapidee la prova di compressione semplice (DL) deve essere condotta per la determinazione dei carichi unitari di rottura e può essere effettuata o su campioni cilindrici o cubici (di lato 10 cm) con presse in grado di potere sviluppare una pressione adeguata.