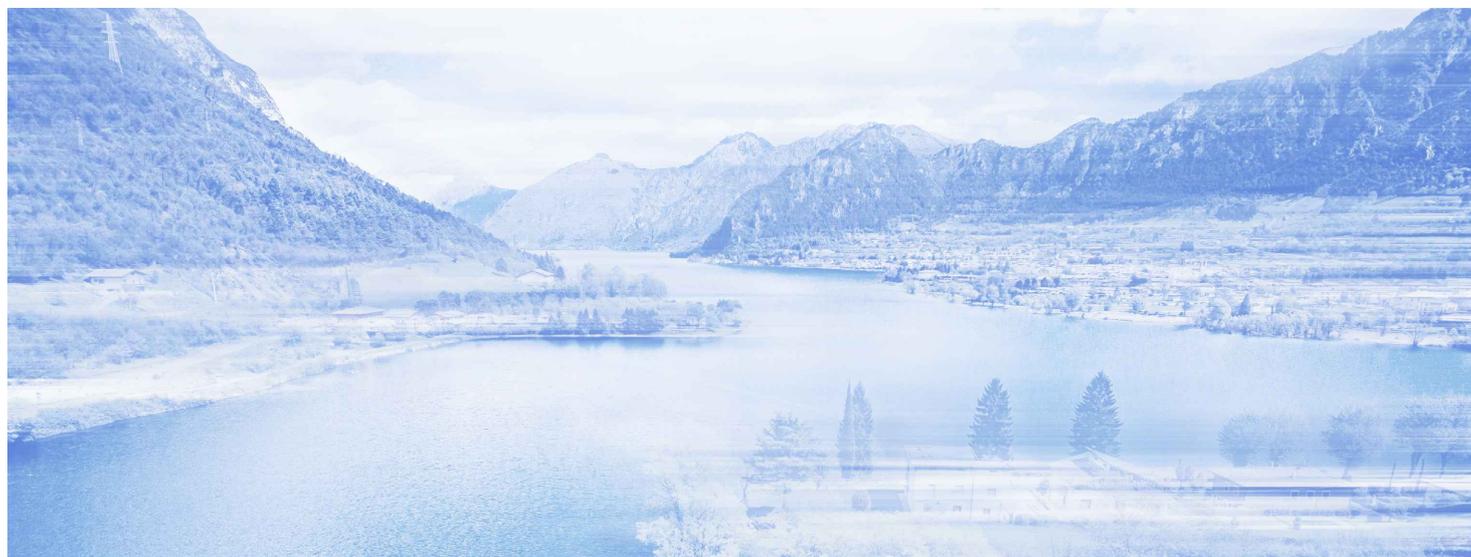


NUOVE OPERE DI REGOLAZIONE PER LA MESSA IN SICUREZZA DEL LAGO D'IDRO



RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO DI PROGETTISTI



PROGETTO ESECUTIVO

ELABORATI GENERALI

INDAGINI INTEGRATIVE

Capitolato Speciale d'Appalto - Parte II (Specifiche Tecniche)

Fase PE	Ambito 000	Opera GEO	Argomento II	Progressivo 010	Tipo elaborato CS	Revisione A
Redatto NG	Controllato GS		Approvato GL		Scala -	Data 24/06/22

 Agenzia Interregionale per il fiume Po	IL DIRETTORE GENERALE AIPO Ing. L. Mille	IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO Ing. M. Vergnani
	RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE ALPINA S.p.A. Ing. Paola Erba	PROGETTAZIONE GEOLOGIA STUDIO GRIFFINI SRL Geol. Lamberto Griffini

REV.	DATA	OGGETTO REVISIONE	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO
A	24/06/22	-	NG	GS	GL
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-

Cronologia delle revisioni

Rev.	Data	Descrizione	Redatto	Controllato	Approvato
A	24.06.2022	Emissione Definitiva	NG	GL	GL

Abbreviazioni

NTC2018	DM 17 Gennaio 2018 – Norme Tecniche per le Costruzioni e Circolare 21 Gennaio 2019 n.7 del Consiglio Sup. LL. PP. – Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al DM 17 Gennaio 2018
AIPO	Agenzia Interregionale per il fiume Po

Sommario

1	Prescrizioni generali	4
2	Riferimenti.....	13
2.1	Normativa e Standard.....	13
3	Descrizione piano indagini	14
3.1	Indagini in sito	14
4	Prescrizioni generali di carattere tecnico	17
4.1	Modalità di accesso	17
4.2	Approntamento cantieri.....	17
4.3	Realizzazione piazzola.....	17
4.4	Perforazioni per sondaggi geognostici.....	18
5	Modalità esecutive delle indagini	20
5.1	Generalità	20
5.2	Sondaggi	20
5.3	Sondaggio a distruzione di nucleo	21
5.4	Sondaggio a carotaggio continuo	21
5.5	Sondaggio geognostico ad andamento direzionato.....	25
5.6	Campionamento geotecnico nei sondaggi.....	25
5.7	Installazione piezometro a tubo aperto.....	26
6	Prove in situ.....	28
6.1	Prova di penetrazione dinamica SPT	28
6.2	Prova pressiometrica	29
6.3	Prove dilatometriche	33
6.4	Specifiche tecniche indagini BHTV.....	36
6.5	Prove di permeabilità in sondaggio tipo Lefranc	37
6.6	Prove di permeabilità in sondaggio tipo Lugeon	38
7	Prove di laboratorio geotecnico	42
7.1	Compressione uniassiale e triassiale su rocce.....	42

1 Prescrizioni generali

Il presente documento è stato redatto nell'ambito della Revisione del Progetto Esecutivo della galleria di by-pass idraulico che convoglia le acque del Lago di Idro nel Fiume Chiese, suo emissario.

L'oggetto del presente Capitolato Speciale d'Appalto è costituito dall'insieme delle attività necessarie per l'esecuzione di indagini geognostiche e geofisiche e per le prove di laboratorio su terre e rocce.

Se non diversamente disposto con specifico articolo, nell'esecuzione di tali attività saranno a carico dell'Affidatario tutti gli oneri e adempimenti necessari per:

- l'ottenimento dei permessi e per l'accesso ai punti di indagine,
- le occupazioni delle aree, lo stazionamento del personale e delle attrezzature necessarie,
- il ripristino dei siti interessati dalle attività di indagine nelle condizioni precedenti l'esecuzione dei lavori,
- il risarcimento di eventuali danni a terzi,
- i carburanti e ogni altro materiale di consumo,
- i costi logistici e del personale, le attrezzature accessorie,
- la fornitura di acqua per le perforazioni,
- il trasporto e la spedizione dei campioni ai laboratori,
- l'interpretazione, la restituzione e la documentazione dei lavori eseguiti ed ogni altro onere necessario per l'espletamento a perfetta regola d'arte dei Servizi ed eventuali bonifiche da residuati bellici.

L'Affidatario è quindi tenuto ad assicurarsi, preventivamente all'inizio delle indagini in sito, dell'acquisizione dei permessi di accesso e che sul suolo e nel sottosuolo e/o sulle o nelle strutture e sui o nei manufatti interessati dalle indagini e nelle aree di servizio e negli accessi, non esistano impedimenti di qualsiasi genere (quali, ad esempio, vincoli per elettrodotti non a distanza di sicurezza, vincoli riconosciuti di qualsiasi natura e genere, alberature, servizi, sottoservizi di acque, energia elettrica, linee telefoniche, fognature, condutture di qualsiasi genere - gas, aria compressa ecc.), che possano limitare l'agibilità delle attrezzature od essere danneggiati od arrecare danni.

L'indagine per l'accertamento di vincoli o impedimenti dovrà essere condotta presso tutti gli enti pubblici e/o altri soggetti privati e dovrà essere finalizzata all'ottenimento di una esaustiva documentazione relativa all'ubicazione dei sottoservizi.

L'Affidatario dovrà, comunque, provvedere tempestivamente ad eliminarli o proteggerli, dovendo il Committente (AIPO) rimanere sollevato ed indenne da ogni responsabilità verso chiunque per danni accidentali di qualsiasi genere, anche provenienti da imprevisti geologici (ad esempio: falde artesiane, presenza di gas naturali, alterazioni di condizioni idrogeologiche e simili).

Qualora i luoghi d'indagine ricadano in aree soggette a vincoli di carattere amministrativo, ambientale, urbanistico, archeologico o di qualunque altro genere, sarà compito dell'affidatario, in ciò delegato da AIPO, provvedere a fornire agli Enti interessati tutta la documentazione allo scopo necessaria, unitamente agli adempimenti richiesti, al fine di ottenere le necessarie autorizzazioni.

L'affidatario non potrà nulla pretendere per eventuali ritardi nell'ultimazione dei servizi dovuti a difficoltà nell'ottenimento delle relative autorizzazioni.

Oltre al rispetto delle normali procedure antinfortunistiche previste dalla vigente legislazione, nel caso che l'Impresa sia chiamata ad operare entro aree nelle quali esistano o siano temuti fenomeni di

inquinamento ad opera di sostanze tossiche o nocive, esso è tenuto a prendere le misure di sicurezza per prevenire la contaminazione da diretto contatto o inalazione del personale addetto ai lavori.

L'Affidatario dovrà, in ogni momento, a semplice richiesta dell'AIPO, dimostrare di aver provveduto in tal senso.

Tutti gli oneri sopra specificati, se non diversamente specificati con apposito articolo di elenco prezzi, si intendono compensati nell'importo complessivo delle indagini geognostiche.

Le prove di laboratorio dovranno essere eseguite da Laboratori accreditati ed inseriti nell'elenco depositato presso il C.S. LL.PP. S.T.C. alle categorie A (prove su terre) e B (prove su rocce).

Tutti i punti d'indagine (sondaggi, prove penetrometriche, pozzetti geognostici, estremi delle basi geofisiche) dovranno essere opportunamente georeferenziati a seguito di apposito rilievo planoaltimetrico, eseguito secondo le indicazioni dell'AIPO. Gli esiti del rilievo verranno riportati nella relazione sulle indagini o in apposito elaborato.

➤ D.Lgs. 81/2008

Ai sensi di quanto disposto dal D.Lgs. 81/2008 "Testo Unico sulla Sicurezza" e ss.mm.ii., l'Affidatario dovrà predisporre, prima dell'inizio dei lavori, il piano delle misure di sicurezza fisica dei lavoratori. L'Affidatario risponderà del rispetto del piano stesso attraverso il responsabile incaricato di eseguire l'attività oggetto dell'incarico.

L'Affidatario dovrà osservare le norme derivanti dalle vigenti Leggi relative alla prevenzione ed assicurazione infortuni sul lavoro, alle varie previdenze e assicurazioni sociali ed ogni altra disposizione in vigore, o che potrà intervenire nel corso del contratto, per la tutela materiale e morale dei lavoratori.

➤ Legge 464/84

Sarà onere dell'Affidatario ottemperare alla Legge 4 agosto 1984 n. 464, che prevede l'obbligo di comunicare al Servizio Geologico d'Italia - Dipartimento Difesa del Suolo (ISPRA) le informazioni relative a studi o indagini nel sottosuolo nazionale, per scopi di ricerca idrica o per opere di ingegneria civile, riguardanti in particolare le indagini a mezzo di scavi, perforazioni e rilievi geofisici spinti a profondità maggior i di 30 metri dal piano campagna e, nel caso delle gallerie, maggiori di 200 metri di lunghezza. L'Affidatario dovrà comunicare per iscritto alla D.L. delle avvenute trasmissioni. Quest'ultima non procederà alla liquidazione finale dei Lavori, Forniture o Servizi in assenza dei suindicati adempimenti.

La trasmissione della documentazione deve avvenire mediante una comunicazione preventiva di inizio indagine e, successivamente, una comunicazione definitiva di fine indagine (o sospensione), attenendosi alle modalità di trasmissione reperibili sul sito dell'ISPRA.

➤ Programmazione delle indagini

L'AIPO fornirà all'Affidatario, all'atto della consegna dei servizi, e comunque prima dell'avvio delle attività, i seguenti dati:

- Planimetria ubicativa delle verticali d'indagine e delle prospezioni geofisiche;
- Scheda sintetica delle indagini previste, comprendente: tipologia di indagine richiesta (sondaggi, pozzetti esplorativi, prove penetrometriche, prospezioni geofisiche, altro), profondità da

raggiungere, prove in sito, prelievo di campioni richiesti compatibilmente con la natura dei terreni che verranno accertati, posa in opera di strumentazione (piezometri, inclinometri, attrezzature per prove geofisiche, ecc.) ed ogni altra tipologia di indagini tenuta opportuna.

L'Affidatario dovrà garantire la presenza in cantiere, a tempo pieno, di un tecnico qualificato (Geologo o Ingegnere Geotecnico, con laurea triennale o specialistica), iscritto all'Albo professionale, con la qualifica di "Responsabile di cantiere". Egli curerà e coordinerà l'esecuzione delle indagini, sovrintenderà all'esecuzione delle prove in situ, alla misurazione del livello statico della falda nei fori di sondaggio, provvederà alla compilazione dei dati di cantiere e alla loro trasmissione e risponderà della qualità di esecuzione delle indagini stesse (scelta delle modalità esecutive adottate, confezionamento delle cassette, completezza e qualità dei dati restituiti). Egli avrà inoltre il compito di avvertire tempestivamente l'AIPO di eventuali esigenze di modifiche, variazioni e spostamenti rispetto al programma d'indagine approvato. Tali modifiche non potranno essere eseguite in assenza di autorizzazione formale da parte dell'AIPO.

L'Affidatario sarà tenuto a comunicare ad AIPO, entro e non oltre 5 giorni naturali e consecutivi dalla consegna dei servizi, il nominativo ed i riferimenti del Responsabile di cantiere, la data prevista di effettivo inizio degli stessi e il cronoprogramma delle attività.

➤ Variazioni ed integrazioni alle indagini previste

Le indicazioni contenute nel programma delle indagini (Scheda sintetica) consegnato all'Affidatario devono essere considerate come previsioni, e potranno essere soggette ad adeguamenti, sulla base di elementi di carattere progettuale o logistico. L'AIPO, pertanto, si riserva piena ed ampia facoltà di introdurre, in sede di esecuzione della campagna, le varianti che riterrà opportune nell'interesse della buona riuscita e dell'economia dei servizi d'indagine, in funzione delle esigenze progettuali, senza che l'Affidatario possa vantare motivi per avanzare pretese di compensi ed indennizzi aggiuntivi di qualsiasi natura e specie.

L'Affidatario, non potrà variare né modificare il programma dei lavori appaltati, senza averne preventivamente ottenuto autorizzazione dalla D.L. o direttamente da AIPO, la quale avrà diritto di non riconoscere quei lavori che risultassero eseguiti in contravvenzione alle disposizioni; AIPO si riserva la facoltà e diritto di fare ripristinare dall'Affidatario a suo onere e spese, le condizioni morfologiche, di stabilità e permeabilità dei luoghi preesistenti alla esecuzione dei lavori eseguiti in difformità.

È fatto obbligo all'Affidatario di apportare ai servizi, anche se già elaborati e presentati, tutte le modifiche e le integrazioni ritenute necessarie e richieste da AIPO, senza che ciò dia diritto a speciali o maggiori compensi.

➤ Conduzione e presentazione delle indagini

In relazione a tutte le attività tecniche oggetto dei servizi (rilievi, sondaggi, prove in situ e laboratorio, prospezioni, prelievi, analisi, ecc.) l'Affidatario fornirà le relative elaborazioni, grafiche e numeriche, secondo le prescrizioni fornite da AIPO.

In particolare, per le perforazioni di sondaggio e per i pozzetti esplorativi, L'Appaltatore dovrà fornire le schede stratigrafiche contenenti tutte le informazioni ricavate nel corso del sondaggio (quota bocca-foro, caratteristiche litologiche e caratteri dei terreni, percentuale di recupero, livello della falda con specificata la data e ora della/e misura/e, quote di prelievo dei campioni, di esecuzione delle prove in situ, di installazione di strumentazione geotecnica, valori di resistenza al penetrometro tascabile, valori dell'R.Q.D., ecc.). Per ogni sondaggio e pozzetto dovranno essere allegate in formato

digitale (formato immagine tipo .tif, .jpg, .png, ecc.) le fotografie a colori della postazione della sonda o dell'escavatore, e delle cassette catalogatrici. Le cassette dovranno essere fotografate entro 2 ore dal loro completamento con l'apposizione di scala cromatica di riferimento. Le carote terebrate in terreni dovranno essere scortecciate, quelle in terreni litici lavate.

È richiesta la completa leggibilità di tutti i dati riportati sulla cassetta e una visione chiara delle carote in esse contenute. Il confezionamento delle cassette prevedrà l'indicazione del cantiere, del codice identificativo del sondaggio e delle quote effettive di perforazione, nonché l'inserimento di testimoni in corrispondenza dei tratti interessati da campionamento e dall'esecuzione di prove in foro e dei punti di fine manovra. Le cassette catalogatrici, a 3 o a 5 scomparti con coperchio, saranno fornite dall'Affidatario, accettate da AIPO e compensate con il relativo prezzo. Sui tratti di carota perforati in terreni coesivi, andranno eseguiti immediatamente dopo l'estrazione, i tests a carattere speditivo (pocket penetrometer, vane test).

Per i tratti attraversanti unità litiche sarà obbligatorio redigere un'apposita scheda di rilievo geo-meccanico, secondo le più recenti norme e raccomandazioni I.S.R.M., contenente, tra l'altro, la determinazione dell'indice R.Q.D. (Rock Quality Designation Index, Deere), nonché indicazioni su orientazione, stato di alterazione, frequenza, spaziatura, riempimento, rugosità (valore JRC) delle discontinuità naturali presenti. L'R.Q.D. verrà rilevato analiticamente e restituito per tratti corrispondenti alla lunghezza delle battute eseguite, riportandone il valore esatto su apposite tabelle. Tutti gli elaborati di cui sopra verranno presentati, su supporto cartaceo (n.1 copia) e su supporto magnetico, unitamente ad un Rapporto Tecnico Conclusivo, nel quale verranno descritte le metodologie di indagini applicate, i riferimenti alle norme e alle procedure adottate per la conduzione delle prove, con commento e presentazione dei risultati delle indagini geognostiche, geofisiche, delle prove in sito e/o laboratorio e ogni altra osservazione utile (perdite di fluido di perforazione, frammenti del foro, ecc.).

Al Rapporto Tecnico Conclusivo dovranno essere allegate:

- le stratigrafie delle perforazioni di sondaggio e dei pozzetti geognostici,
- le relative fotografie (delle cassette catalogatrici, delle postazioni e degli scavi)
- le risultanze delle prove effettuate nei fori di sondaggio.
- i certificati di prova, firmati dal Tecnico sperimentatore e dal Direttore del Laboratorio autorizzato;
- il collaudo della strumentazione geotecnica installata completa della documentazione fotografica dei siti.

Gli elaborati grafici del progetto dovranno normalmente essere prodotti su tavole di formato A1 o A3 e dovranno inoltre essere resi disponibili su file.

In particolare, i formati dei file consegnati dovranno essere compatibili con i seguenti software:

- AUTOCAD, per la grafica 2D e 3D;
- MS-WORD per Windows per la redazione dei testi;
- MS-EXCEL per Windows per il calcolo e la redazione di tabelle e/o grafici;
- formati "raster" più diffusi (.pdf, .tif, .jpg, .pcx, ecc.) per i certificati e gli altri elaborati tecnici (certificati di calibrazione strumenti, grafici, ecc.).

Tutti gli elaborati tecnici e grafici relativi alle indagini effettuate (schede stratigrafiche, listati e diagrammi di prove penetrometriche statiche o dinamiche, indagini geofisiche, ecc.), unitamente ai certificati di laboratorio (qualora non sottoscritti dal Direttore dello stesso) saranno redatti e firmati,

per le parti di rispettiva competenza, dal Responsabile di sito e dal Direttore del Laboratorio (Geologo o Ingegnere specializzato nelle discipline geotecniche, iscritti all'Albo Professionale). Le operazioni d'indagine saranno considerate ultimate all'atto della trasmissione formale ad AIPO della documentazione tecnica definitiva relativa alle stesse. L'Affidatario dovrà comunque tenere aggiornata la documentazione preliminare dei lavori e trasmetterla con frequenza almeno settimanale alla D.L.

L'Affidatario provvederà alle operazioni topografiche di rilievo planoaltimetrico di ogni singolo punto di prova, secondo le modalità e le procedure indicate da AIPO. Sarà a sua cura il reperimento degli elementi di appoggio del rilievo topografico (capisaldi, coordinate, ecc.). Di tali operazioni l'Affidatario fornirà all'AIPO i relativi elaborati grafici.

In particolare, dovrà essere prodotto uno specifico elaborato (Rapporto tecnico sui rilievi planoaltimetrici) nel quale verrà esposta la metodologia utilizzata, il sistema di riferimento o la rete di stazioni GNSS utilizzati, i capisaldi di appoggio e/o le stazioni permanenti e virtuali per i rilievi GPS ed i relativi apparati, il grado di precisione/approssimazione delle misure, e corredato da una scheda di rilievo monografica per ogni punto rilevato, recante le coordinate planimetriche nel sistema di riferimento indicato (usualmente duplice: Gauss-Boaga e WGS84), la quota e la documentazione fotografica relativa alle operazioni di rilievo di campagna.

➤ Norme delle attività di accettazione e di contabilizzazione

La contabilizzazione e la conseguente valorizzazione delle attività eseguite verrà effettuata da AIPO successivamente alla consegna della documentazione tecnica relativa ed al completo recepimento delle osservazioni formulate da AIPO in ordine ad eventuali carenze o incompletezza della documentazione fornita.

I servizi verranno quantificati in parte a corpo e in parte a misura, in base ai prezzi unitari, allegati al Disciplinare/Contratto, che risultano dall'apposito Elenco prezzi, con le deduzioni del ribasso offerto.

I prezzi comprendono ogni spesa per forniture, trasporti, ecc., le quote per assicurazioni sociali personale, ogni spesa per dare a piè d'opera macchinari, strumentazioni, dispositivi, ecc., nonché tutte le spese per prelievi, prove in sito e/o in laboratorio, per i mezzi d'opera provvisori, nessuna esclusa, e quanto altro occorra per dare i servizi completi a perfetta regola d'arte, intendendosi nei prezzi stessi compreso ogni compenso per gli oneri tutti che l'Affidatario dovrà sostenere a tale scopo.

I prezzi medesimi, diminuiti del ribasso offerto e sotto le condizioni contenute nel Disciplinare/Contratto, s'intendono accettati dall'Affidatario, in base a sue valutazioni e sono, quindi, da intendersi invariabili durante lo svolgimento dei servizi ed indipendenti da qualsiasi eventualità.

La valorizzazione di eventuali operazioni aggiuntive non previste verrà concordata con l'Affidatario e se non prevista in Elenco Prezzi, verrà formato un N.P. basato su Listini ufficiali in vigore o mediante analisi Nuovo Prezzo.

➤ Attività specifiche relative al cantiere di indagini geognostiche

Saranno considerati a carico dell'Affidatario:

- l'approntamento delle attrezzature di sondaggio e del cantiere geognostico ed il loro posizionamento sui punti d'indagine;
- il trasporto in andata e ritorno di attrezzature e personale al sito di cantiere.

È inoltre previsto a carico dell'Affidatario il montaggio del cantiere, consistente nell'allestimento di un'area da dedicare a deposito, magazzino e officina, e sulla quale potranno eventualmente, in base all'entità del cantiere, essere eretti opportuni baraccamenti. In tale area si provvederà, all'arrivo delle attrezzature, al loro montaggio e verifica, precedentemente all'invio sulla prima postazione.

Le profondità di perforazione saranno valutate dal piano d'imposta dell'attrezzatura. Nell'importo a misura previsto, relativo alla perforazione, è compreso qualsiasi onere ed in particolare quelli di seguito elencati, relativi:

- alla fornitura o al noleggio di un idoneo mezzo di approvvigionamento di acqua necessaria alle perforazioni, qualora questa non sia reperibile nelle immediate vicinanze del sondaggio;
- all'eventuale preparazione di vasche di recupero dei fanghi (che saranno fuori terra), e all'utilizzazione di eventuali tubazioni e manichette per l'approvvigionamento idrico da acquedotto o da altra sorgente d'acqua;
- alla 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;
- alle indennità di occupazione ed ai danni comunque provocati per le esecuzioni del sondaggio e per le operazioni connesse;
- alle eventuali soste disposte, con ordine di servizio, dalla D.L.
- all'allontanamento dei detriti estratti, all'eventuale riempimento a chiusura, anche con argilla fluidificata e boiaccia di cemento, del foro eseguito ed al ripristino delle condizioni antecedenti alla perforazione;
- al trasporto a rifiuto di tutti i materiali di risulta comunque connessi con le attività di sondaggio;
- alla 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;
- alla prestazione del personale tecnico e della manovalanza, alla fornitura ed all'impiego di energia, di combustibile, di acqua, di cemento, di fanghi bentonitici, di additivi, di sacchetti per la conservazione dei campioni, delle cassette catalogatrici ed all'impiego di pompe e di eventuali tubazioni di rivestimento;
- ai perditempi relativi ed agli oneri particolari derivanti dall'estrazione e conservazione in cantiere, per tutta la durata dei lavori, dei campioni estratti chiusi in sacchetti di plastica e collocati con le indicazioni necessarie entro le apposite cassette catalogatrici;
- all'esecuzione del foro di sondaggio con sistemi, materiali od attrezzature, tali da impedire frane nel foro stesso e garantire la sua accessibilità completa;
- all'eventuale lavaggio dei fori ed alla rimozione ed allontanamento dei detriti;
- al rilievo completo delle caratteristiche delle falde di acqua eventualmente incontrate con il sondaggio;
- al ritombamento del sondaggio, una volta completato, con materiali idonei, da approvvigionare (sabbia/ghiaia) eventualmente additivati con malta idraulica e cementizia, al fine di impedire infiltrazioni di acqua nel sottosuolo;
- alla movimentazione delle cassette catalogatrici ed al prelievo successivo, da queste, di campioni rimaneggiati e/o spezzoni di carota.
- L'Affidatario provvederà agli spostamenti da un foro all'altro, all'eventuale fornitura dei mezzi di trasporto e traino, alla formazione delle vasche per i fanghi di circolazione, al montaggio sul posto dell'attrezzatura stessa.
- Di seguito si richiama l'attenzione su alcuni oneri particolari, a cui l'Affidatario è tenuto in quanto compresi nel compenso complessivo previsto:

- provvedere alla lettura di "zero" ed alla redazione del collaudo della strumentazione geotecnica installata (piezometri, inclinometri, assestimetri, estensimetri, altro);
- prelevare e conservare opportunamente i campioni indisturbati, provvedere alla loro idonea conservazione in luogo adatto (protetto dalle intemperie e da cicli di gelo/disgelo), e consegnarli, a propria cura e spese, al laboratorio autorizzate dal MIMS ed inserito nell'elenco depositato presso il C.S.LL.PP. alle categorie A (prove su terre) e B (prove su rocce), che dovrà essere preliminarmente comunicato ed accettato da AIPO;
- assicurarsi preventivamente, e tempestivamente, dell'idoneità e della qualità dei campioni pervenuti in laboratorio, comunicando immediatamente alla D.L. eventuali carenze o anomalie;
- fornire la documentazione e le specifiche tecniche relative all'attrezzatura penetrometrica, dilatometrica, pressiometrica e per prove di permeabilità in foro, da utilizzare;
- fornire la documentazione, le specifiche tecniche e la certificazione di taratura aggiornata dei martinetti, relative all'attrezzatura per le prove di carico su piastra;
- garantire la perfetta efficienza dell'attrezzatura installata ed il completamento del foro, per l'esecuzione delle prospezioni geofisiche;
- verificare, preventivamente all'esecuzione delle prove geofisiche in foro, la correttezza del tipo o delle modalità di cementazione della tubazione utilizzata e del relativo corredo: la società Affidataria si impegna, pertanto, a comunicare tempestivamente alla D.L. la presenza di eventuali anomalie o carenze che venissero riscontrate;
- curare la redazione dei rapporti da sottoscrivere e della restante documentazione prevista.

L'Affidatario è inoltre tenuto a predisporre a propria cura e spese, per l'intera durata del cantiere geognostico e nelle vicinanze dello stesso, un deposito coperto e protetto dalle intemperie, idoneo alla conservazione delle cassette catalogatrici contenenti le carote dei sondaggi eseguiti ed alla loro protezione dagli agenti atmosferici, garantendone l'accesso in qualsiasi momento ad AIPO. In occasione dei sopralluoghi ispettivi le cassette dovranno essere disposte a terra in sequenza progressiva. In tale deposito le cassette dovranno essere trasportate e conservate sotto la responsabilità dell'Affidatario, fino a che non siano trascorsi 60 (sessanta) giorni dalla data di ultimazione dei servizi; trascorso tale termine queste verranno collocate definitivamente nei siti indicati da AIPO o smaltite a cura ed onere dell'Affidatario. Durante tale periodo l'Affidatario garantirà, su richiesta di AIPO, la disponibilità all'eventuale prelievo di campioni rimaneggiati aggiuntivi o altre analisi/determinazioni.

Ogni gruppo sonda, posizionato in corrispondenza del singolo punto di sondaggio, dovrà essere corredato dalla completa dotazione di attrezzature, utensili ed accessori necessari ad attraversare, campionare e caratterizzare qualsiasi tipo di terreno (carotieri e corone di diversa lunghezza e tipo, rivestimenti, campionatori ordinari tipo Shelby, rotativi tipo Denison, idraulici tipo Osterberg, maglio SPT ed apposite aste di lunghezza adeguata, ecc.).

Nel corso delle perforazioni sarà di norma privilegiato l'impiego di carotieri doppi o tripli, indispensabili ovunque si preveda la presenza di formazioni complesse e strutturate (flysch, metamorfite, scisti, ecc.) e comunque litoidi, al fine di ottenere un recupero il più possibile rappresentativo della struttura dei terreni attraversati. Per l'attraversamento di terreni litoidi intensamente fratturati sarà prescritto l'utilizzo di carotieri tripli, apribili longitudinalmente (tipo T6S). L'impiego del carotiere semplice, di norma, sarà limitato alla perforazione di terreni omogenei recenti (argille, limi, ecc.) e comunque previa approvazione da AIPO.

Non è di norma consentita, se non in terreni a struttura manifestamente omogenea, l'esecuzione di manovre con carotieri di lunghezza superiore a m 1.50.

Qualora la qualità e la percentuale di carotaggio, a giudizio insindacabile di AIPO, non rispettassero i requisiti minimi previsti dalle Norme Tecniche, i relativi tratti verranno compensati applicando ad essi, in luogo della voce a carotaggio continuo, la corrispondente voce a distruzione di nucleo.

➤ Prove penetrometriche statiche o dinamiche

La predisposizione di una piazzola di dimensioni adeguate a quella della macchina prevista come pure le piste d'accesso, saranno a cura e spese dell'Affidatario, in quanto comprese nel compenso stabilito. Questi provvederà, inoltre, agli spostamenti da un punto all'altro, all'eventuale fornitura di mezzi di trasporto e traino, al montaggio sul posto dell'attrezzatura stessa, nonché alle operazioni topografiche di tracciato e/o rilievo planoaltimetrico dei singoli punti di prova e quanto altro già previsto per i sondaggi geognostici.

Qualora la prova penetrometrica richiedesse per il suo completamento l'esecuzione di uno o più prefori sulla stessa verticale, sarà a carico dell'Affidatario ogni onere relativo al piazzamento, sulla postazione, del penetrometro e della sonda ed ai successivi piazzamenti alternati oltre a quello dello spostamento delle macchine, della manovra di immissione a vuoto e successiva estrazione della batteria di aste tanto del penetrometro quanto della sonda come pure del tempo di fermo di una delle due attrezzature impiegate intendendosi compensati con i prezzi di cui all'unito elenco, relativi all'esecuzione della prova stessa.

➤ Campioni indisturbati e determinazioni di laboratorio

Gli oneri previsti per il prelievo dei campioni indisturbati includono:

- la scelta e l'utilizzo del campionatore più idoneo per le litologie incontrate;
- la completa pulizia del fondo foro prima del prelievo;
- la sigillatura del contenitore del campione con idonei mezzi atti a garantire l'impermeabilità;
- l'etichettatura dello stesso;
- la fornitura della fustella.

La spedizione di campioni dal cantiere al Laboratorio geotecnico verrà effettuata a cura e spese dell'Affidatario, con il mezzo più rapido atto a contenere il disturbo recato ai campioni stessi. Qualora il campione non venga recuperato per obiettive difficoltà proprie del terreno da campionare la manovra dovrà essere ripetuta a cura e spese dell'Affidatario.

Il prelievo di spezzoni di carota di consistenza litoide da cassetta verrà compensato con il prezzo relativo al prelievo di campioni rimaneggiati.

All'atto della comunicazione, da parte del laboratorio affidatario, dell'elenco dei campioni pervenuti in laboratorio, completo di quota di prelievo e descrizione della litologia di riferimento

AIPO fornirà una tabella in cui verranno specificate le determinazioni da effettuare su ogni singolo campione.

Le analisi di laboratorio geotecnica dovranno seguire il seguente iter:

- a. ricevimento ed immagazzinamento campioni: identificazione dei campioni, facendo riscontro alle distinte o alle stratigrafie di accompagnamento;
- b. apertura e descrizione campioni;
- c. esecuzione dell'attività di laboratorio: l'identificazione derivante dalle fasi a) e b) dovrà seguire il materiale durante l'esecuzione dell'attività di laboratorio;

- d. elaborazione e documentazione: l'identificazione del campione dovrà essere riportata nel corso dei procedimenti di elaborazione e dovrà comparire nei Certificati Ufficiali dei risultati dell'attività svolta.

2 Riferimenti

2.1 Normativa e Standard

- [1] DM 17.01.2018 – Norme Tecniche per le Costruzioni
- [2] Circolare 21 Gennaio 2019 n. 7 del Consiglio Sup. LL. PP. – Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al DM 17 Gennaio 2018
- [3] Raccomandazioni ISRM (1983), Parte 1 e 2.
- [4] Raccomandazioni ISRM (1983) Vol. 20 n°6.
- [5] D.Lgs. 81/2008 – TU sicurezza
- [6] Legge 464/84 – Comunicazioni ad ISPRA

3 Descrizione piano indagini

3.1 Indagini in sito

Le indagini in programma consistono in un sondaggio geognostico inclinato di lunghezza pari a 160 m a partire dal piano campagna posto a q. 450 m s.m. e da un sondaggio geognostico verticale di lunghezza pari a 40 m a partire dal piano campagna posto a quota 387 m s.m. Dalla visura catastale le particelle dove verranno realizzati i due sondaggi (da database topografico: Foglio 14 Particella 427 e Foglio 14 Particella 2741) vengono identificate con qualità di "prato".

In **Annesso A1** si riporta la visura catastale della particella interessata dal cantiere in oggetto.

Il sondaggio verrà realizzato in parte a distruzione di nucleo (fino ad una profondità di circa 80 m da p.c.) e in parte a carotaggio continuo con tecnica wire-line fino al raggiungimento della profondità prefissata.

Il piano indagini prevede quindi:

- N. 1 sondaggio geognostico S01-22 così composto:
 - Da p.c. fino a 80 m da p.c. a distruzione di nucleo di diametro 170 mm;
 - Da 80 a 160 m da p.c. a carotaggio continuo con carotiere wire-line tipo PQ (diametro del foro 122.3 mm);
 - N. 1 indagine BHTV da 100 a 160 m da b.f.;
 - N. 4 prove di permeabilità tipo Lugeon distribuite tra i 100 ed i 160 m di profondità da b.f.;
 - Prelievo di N.10 campioni litici da sottoporre a prove uniassiali e triassiali strumentate.
- N. 1 Sondaggio geognostico a carotaggio continuo di lunghezza pari a 40 m in cui realizzare:
 - Prove penetrometriche (SPT) ogni 3 m;
 - N.3 prove di permeabilità tipo Lefranc;
 - Installazione doppio tubo piezometrico in PVC microfessurato di cui i primi 6/12 m da p.c. ciechi, di cui uno attrezzato con freatimetro elettrico e datalogger per l'acquisizione in continuo; il secondo per controllo manuale delle misure.
 - Nel sondaggio esistente, denominato S2-07, verrà installato il doppio tubo piezometrico in PVC microfessurato di cui uno attrezzato con freatimetro elettrico e datalogger per l'acquisizione in continuo; il secondo tubo sarà utilizzato per controllo manuale delle misure.

L'ubicazione delle indagini in programma è riportata in **Figura 3.1**, mentre in **Figura 3.2** la stessa è riportata su base catastale.

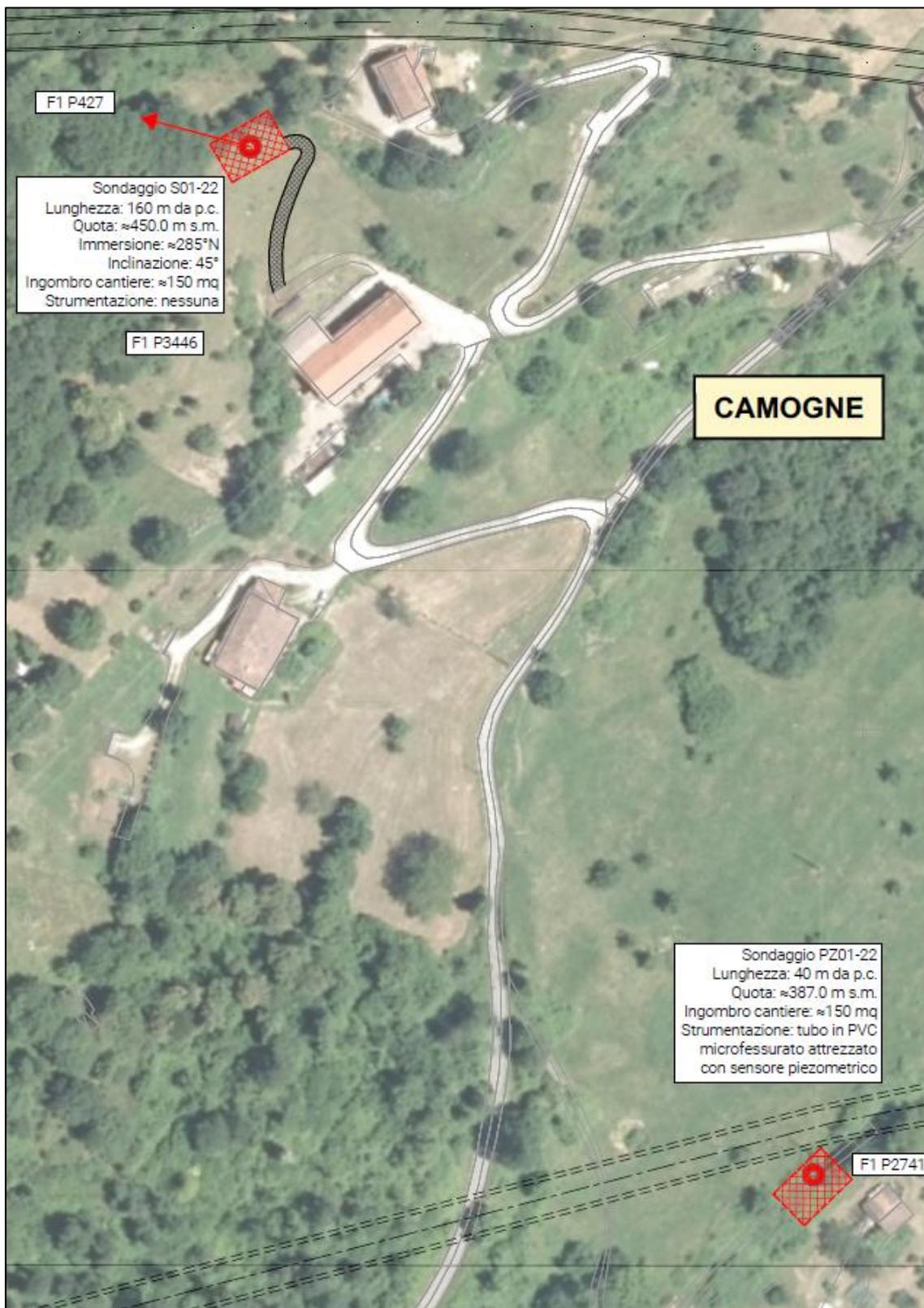


Figura 3.1

Ubicazione sondaggi geognostici e ingombro cantiere su ortofoto (da GeoPortale)

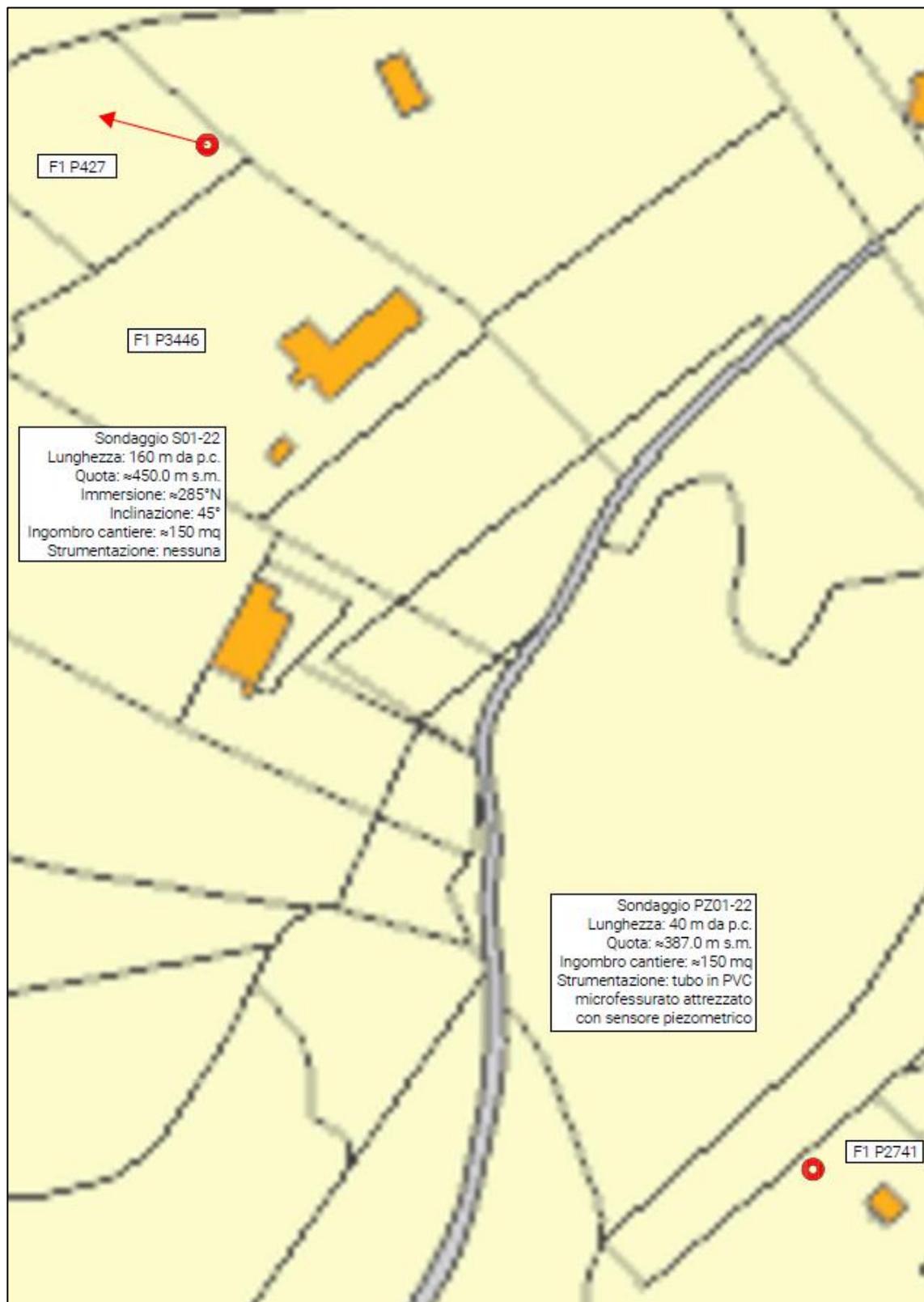


Figura 3.2

Ubicazione sondaggio geognostico su base catastale (da GeoPortale)

4 Prescrizioni generali di carattere tecnico

4.1 Modalità di accesso

Per raggiungere l'area di interesse per la realizzazione del foro di sondaggio S01-22 (ubicato nella particella catastale F1 P427) sarà realizzata una pista di accesso che interesserà la particella catastale F1 P3446, secondo l'accordo con i proprietari del fondo. IL sondaggio PZ01-22 è accessibile mediante una pista carrabile già esistente.

4.2 Approntamento cantieri

La prima fase dell'attività prevede la delimitazione delle aree dove sono previste perforazioni e l'allestimento di un'area logistica di cantiere.

Sarà a cura dell'Aggiudicatario reperire gli spazi necessari all'allestimento del cantiere comprese le aree necessarie allo stoccaggio della strumentazione e dei materiali derivanti dall'attività di perforazione. Lo stoccaggio di inerti, materiale e attrezzature necessarie alle diverse fasi di cantiere deve essere effettuato a distanza ed in posizione tale da evitare sversamenti diretti delle acque di dilavamento nei corsi d'acqua con conseguente trasporto di solidi sospesi ed inquinanti o, in alternativa, si dovranno prevedere sistemi di captazione ed allontanamento delle stesse.

In materia di sicurezza sui luoghi di lavoro, oltre a quanto previsto nello specifico allegato, sarà necessario che per ciascuna area oggetto di interventi sia:

- posizionata adeguata segnaletica per la presenza dei mezzi in movimento per le aree adiacenti a strade;
- realizzata un'adeguata recinzione delle aree di cantiere al fine di impedire l'ingresso ai non addetti ai lavori, soprattutto durante le ore di sospensione dei lavori.

4.3 Realizzazione piazzola

In linea generale, la piazzola dovrà essere realizzata solo a seguito del suo definitivo posizionamento indicato dal Direttore dei Lavori che – con l'assistenza tecnica del Responsabile individuato dall'Aggiudicatario – provvederà a picchettare e fotografare. Eventuali modifiche sostanziali del posizionamento della piazzola rispetto alla posizione originariamente indicata sono da concordare con la Direzione Lavori e da comunicare alla Stazione Appaltante ma non darà luogo a modifica dei compensi. Dovrà essere limitato al minimo l'impatto: gli eventuali movimenti terra e taglio piante dovranno essere contenuti all'indispensabile, ponendo attenzione affinché le terre e rocce da scavo non siano contaminate da sostanze inquinanti derivanti dalle attività di escavazione, perforazione e movimentazione. Il materiale escavato/perforato che risultasse essere oggettivamente rifiuto dovrà essere smaltito e/o recuperato secondo la normativa vigente e a cura del prestatore del servizio; qualora fosse invece necessario reperire materiale per i rinterrati, lo stesso dovrà risultare tracciabile e certificato. Durante le lavorazioni saranno inoltre da evitare sversamenti accidentali nel sottosuolo vietando anche le operazioni in sito di manutenzione dei mezzi meccanici/attrezzature che potrebbero determinare la dispersione di sostanze pericolose (oli minerali, liquidi di raffreddamento, carburanti).

4.4 Perforazioni per sondaggi geognostici

I requisiti essenziali che devono possedere i soggetti autorizzati a svolgere le indagini geognostiche, il prelievo dei campioni e le prove in sito sono indicati dal Servizio Tecnico Centrale del Ministero delle Infrastrutture e della Mobilità Sostenibile (MIMS).

L'Aggiudicatario è tenuto:

- e. ad utilizzare macchinari di potenza adeguata a consentire la perforazione e l'eventuale rivestimento del foro sino alla profondità indicata;
- f. sonde, aste, corone, carotieri, campionatori e quant'altro necessario ad effettuare le operazioni prescritte, dovranno essere in perfette condizioni e pronta disponibilità, tali da assicurare la massima qualità di esecuzione;
- g. a non muovere l'attrezzatura dal foro ultimato senza precisa autorizzazione della Direzione dei Lavori ed in ogni caso a non rimuoverla dal foro prima che la Direzione dei Lavori abbia effettuato la misura della profondità di questo e altre verifiche ritenute necessarie;
- h. a fornire i canneggianti, gli attrezzi e gli strumenti necessari per la misurazione ed il controllo dei lavori, per studi particolari di dettaglio, per la redazione della contabilità e la successiva accettazione dei lavori;
- i. a non approfondire il foro oltre alla quota preventivata, né concludere anticipatamente la perforazione senza precisa autorizzazione scritta della Direzione dei Lavori, né modificare altre caratteristiche;
- j. a stoccare i materiali provenienti dalle attività di perforazione solo fino al raggiungimento delle volumetrie previste dalla normativa vigente, in attesa del successivo smaltimento e/o recupero. Si ricorda che il materiale escavato che risultasse essere oggettivamente rifiuto, dovrà essere smaltito e/o recuperato secondo la normativa vigente e a cura del prestatore del servizio;
- k. ad evitare l'ingresso nel foro di acque superficiali o di scolo, ad effettuare la deviazione preventiva di esse dalla sede del cantiere;
- l. a comunicare tempestivamente alla Direzione dei Lavori lo stato di avanzamento dei sondaggi, precisando:
 - o la denominazione del sondaggio;
 - o la posizione e la quota rilevate mediante GPS o misura topografica del boccaforo;
 - o la data di inizio e termine di ogni foro;
 - o i diametri del foro;
 - o l'uso del rivestimento e il diametro dello stesso;
 - o la tipologia dello scalpello e l'utilizzo della corona diamantata indicandone la quota e la data, nonché il numero di metri per i quali è stata impiegata;
 - o la natura dei successivi strati attraversati da ogni singolo foro e riscontrati, precisando tutte le variazioni la costituzione granulometrica e consistenza e le eventuali inclusioni;
 - o le eventuali perdite, ove venisse impiegata acqua nella perforazione, l'eventuale venuta d'acqua e tutte le caratteristiche delle falde acquifere incontrate;
 - o la profondità raggiunta giornalmente ed a fine foro;
 - o la profondità di falda all'inizio e alla fine di ogni giornata di lavoro;
 - o tutti i risultati delle prove in situ effettuate in corso di esecuzione;
 - o ogni altra indicazione necessaria affinché si abbia una sicura e precisa visione della stratigrafia.

Tutte le informazioni sopra sintetizzate dovranno essere quotidianamente riportate e/o aggiornate nel Giornale di cantiere.

- m. a fornire, in n. 2 copie, alla Direzione dei Lavori i rapportini di perforazione, completi di una breve relazione redatta da un Geologo esperto comprendente tutti i profili rappresentanti in scala la stratigrafia rilevata nei fori delle carote all'interno delle cassette portacampioni;
- n. a trasmettere alla Direzione dei Lavori un rapporto riguardante i campioni estratti e la loro classificazione. Su tale rapporto per ogni campione dovranno essere riportati:
 - o la denominazione del foro da cui è estratto;
 - o la quota del prelievo;
 - o il tipo di campionatore utilizzato;
 - o la natura del campione;
 - o la modalità del prelievo;
 - o la data del prelievo;
 - o la data di spedizione al laboratorio di prove autorizzato;
- o. a fornire almeno una fotografia digitale della zona ove verrà eseguito il foro;
- p. a provvedere:
 - o alla fornitura delle apposite cassette catalogatrici per la conservazione delle carote estratte mediante il sondaggio; di ogni cassetta dovrà essere fornita fotografia digitale a colori.

5 Modalità esecutive delle indagini

5.1 Generalità

L'esecuzione delle indagini dovrà essere effettuata secondo le modalità via via descritte nei paragrafi successivi e nel progetto nel suo complesso. Nel caso in cui l'Aggiudicatario ritenesse necessario apportare delle modifiche alle modalità anzidette, dovrà preliminarmente informare la Direzione dei Lavori motivando tali modifiche che dovranno essere approvate per iscritto dalla Direzione dei Lavori. Alla misura dei lavori e alla loro contabilizzazione si provvederà in contraddittorio tra la Direzione dei Lavori e l'Aggiudicatario. Ogni prezzo di tariffa rappresenta il valore di un lavoro unitario interamente compiuto, nel rispetto delle indicazioni minime descritte negli elaborati di progetto (capitolato d'onere, specifiche tecniche, relazione tecnica, ecc.). Tutti gli oneri generali e speciali stabiliti nelle tariffe e nel progetto restano indennizzati con la valutazione dei lavori in base ai prezzi di elenco, nei quali è tenuto conto di qualsiasi onere ed utile dell'Aggiudicatario, depurati del ribasso contrattuale.

5.2 Sondaggi

In relazione al tipo di lavoro da eseguire ed alle previsioni progettuali la perforazione, su disposizione della Direzione dei Lavori, sarà eseguita con le modalità atte ad effettuare il carotaggio continuo, oppure con procedimenti in cui il carotaggio non sia necessario (a distruzione di nucleo).

Durante la perforazione, l'Aggiudicatario dovrà:

1. utilizzare l'attrezzatura più adatta per la tipologia di sondaggio da eseguire (carotieri semplici, doppi o wire-line nel caso di sondaggi a carotaggio ovvero triconi o martelli a fondo foro nel caso di sondaggi a distruzione);
2. garantire la stabilità delle pareti e del fondo foro in ogni fase della lavorazione;
3. garantire un diametro sufficiente del foro per l'inserimento della strumentazione per le prove dilatometriche e BHTV;
4. garantire la giusta inclinazione del foro durante le operazioni di avanzamento della perforazione.
5. i sondaggi saranno contabilizzati per metro lineare di foro perfettamente eseguito: le profondità saranno misurate dal piano d'imposta dell'attrezzatura.
6. Nei prezzi a metro lineare di foro, è compreso qualsiasi onere, ed in particolare quello relativo:
 - a. alle eventuali soste disposte, con ordine di servizio della Direzione dei Lavori, per accertamenti vari, di durata inferiore ai 1 giorni lavorativi;
 - b. alla prestazione del personale tecnico e della manovalanza, alla fornitura ed all'impiego di energia, del combustibile, del cemento, dei fanghi bentonitici, degli additivi, dei sacchetti per la conservazione dei campioni ed all'impiego delle pompe e delle eventuali tubazioni di rivestimento;
 - c. ai perditempi relativi ed agli oneri particolari derivanti dall'estrazione e conservazione in cantiere, per tutta la durata dei lavori, dei campioni estratti (carote e detriti di perforazione) chiusi in sacchetti di plastica o altro tipo di contenitore e collocati con le indicazioni necessarie entro le apposite cassette catalogatrici;
 - d. all'esecuzione del foro di sonda con sistemi, materiali o attrezzature, tali da impedire frane nel foro stesso e da garantire la sua accessibilità completa;
 - e. all'eventuale lavaggio dei fori ed alla rimozione ed allontanamento dei detriti;
 - f. al rilievo della superficie di falda/e eventualmente incontrata/e durante la perforazione;

5.3 Sondaggio a distruzione di nucleo

➤ Descrizione

Saranno realizzati per permettere, entro gli stessi, la esecuzione di prove e/o l'installazione di strumenti di vario genere e tipo.

La loro realizzazione dovrà quindi essere sempre eseguita tenendo conto di quanto prescritto per le prove o gli strumenti per cui il foro è connesso.

Potranno essere richiesti anche per la perforazione di prefiori in appoggio a preparazioni di altre prove in sito, quali prove penetrometriche statiche, dilatometriche e similari, di emungimento.

➤ Modalità esecutive

Per la perforazione si potrà utilizzare:

- Sonda a rotazione completa di pompa per la circolazione dei fanghi e dispositivi per la loro preparazione.
- Altre sonde proposte dall'Impresa, il cui utilizzo sarà preventivamente comunicato alla DL. Si potranno utilizzare come utensili di perforazione:
- Carotieri semplici o doppi.
- Triconi o utensili a distribuzione dotati di fori radiali per la fuoriuscita del fluido.
- Altri utensili proposti dall'Impresa il cui utilizzo sarà preventivamente comunicato alla DL.

Il diametro di perforazione sarà di 70÷170 mm, comunque da definire in funzione delle prove o degli strumenti da eseguire o installare nel foro.

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

5.4 Sondaggio a carotaggio continuo

➤ Descrizione

Il sondaggio geognostico permette di analizzare il terreno in profondità per la valutazione delle sue caratteristiche geologiche e geotecniche.

Il corredo della sonda deve essere completo di tutti gli accessori necessari per l'esecuzione del lavoro e norma di specifica e degli utensili per la riparazione dei guasti di ordinaria entità, nonché di argano a fune. Qualsiasi lavorazione prevista e non eseguita per carenza di attrezzature in cantiere, comporterà l'interruzione non remunerata del cantiere fino alla esecuzione di quanto richiesto dalla D.L.

Gli utensili utilizzati per la perforazione, dovranno essere disponibili in sito in tutti i casi in cui siano di fatto impiegabili e comunque fare parte della dotazione dell'Impresa, in modo da poter essere rapidamente trasferiti in cantiere qualora necessari. Essi sono rappresentati da:

- Carotieri semplici, con valvola di testa a sfera e calice
 - Diametro nominale $\varnothing_{est} = 101 \div 146$ mm

- Lunghezza utile $l = 150 \div 300$ cm
- Carotiere doppio a corona sottile (T2, T6) con estrattore.
 - Diametro nominale $\varnothing_{est} = 100$ mm
- Carotiere triplo con portacampione interno estraibile ed apribile longitudinalmente (T6S), con estrattore e calice.
 - Diametro nominale $\varnothing_{est} = 100$ mm
 - Corone di perforazione in widia e diamantate. Aste di perforazione con filettatura tronco-conica. Diametro esterno $\varnothing_{est} = 60 \div 76$ mm.

Nella eventualità di procedere alla pulizia del fondo foro, dovrà essere disponibile in cantiere:

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

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

- Spessore tubo - $S = 8 \div 10$ mm
- Diametro interno $\varnothing_{int} = 107 \div 162$ mm
- Lunghezza spezzoni - $l = 150 \div 200$ cm

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

Dovranno fare parte del corredo permanente della attrezzatura da perforazione tutti gli strumenti portatili necessari (Scandaglio a filo graduato, freatimetro da 50 m, penetrometro tascabile, con fondo scala maggiore o uguale a 500 kPa, scissometro tascabile).

➤ Modalità esecutive

Il sondaggio geotecnico deve essere eseguito come di seguito indicato.

Carotaggio integrale con percentuale di recupero 85%. e qualità tale da consentire la completa percezione, in forma inalterata, della struttura originaria del terreno (laminazione, scistosità, ecc.), da eseguire a secco, senza fluido di perforazione in circolo se con carotiere semplice, con circolazione di fluido se con carotieri tipo T2, T6, T6S.

I carotieri saranno azionati ad aste; è 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.

Qualora ordinato, l'Impresa dovrà desistere dall'uso di sistemi wire-line per proseguire con il tradizionale sistema ad aste.

La perforazione, in assenza di sufficiente autosostentamento delle pareti, sarà seguita dal rivestimento provvisorio del foro. La necessità di impiego del rivestimento provvisorio è da verificarsi caso per caso, in relazione alle reali caratteristiche del terreno. I fenomeni di rifluimento riscontrati nel

corso della perforazione dovranno essere opportunamente segnalati e riportati nei relativi logs stratigrafici.

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.

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/sec) ed essere eventualmente intervallata da pause di attesa per il ristabilimento della pressione idrostatica del fluido sul fondo foro.

Debbono essere evitati indesiderabili effetti di risucchio, che possono anche verificarsi nel caso di brusco sollevamento della batteria di rivestimento, qualora occlusa all'estremità inferiore dal terreno per insufficiente circolazione di fluido durante l'infissione.

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

In tutti i casi nei quali non ci sia pericolo di repentini collassi del foro nel tratto non rivestito, il prelievo di campioni in foro o l'esecuzione di prove geotecniche SPT dovrà seguire la manovra di perforazione con carotiere e invece precedere la manovra di rivestimento fino a fondo foro.

Il rivestimento sarà se necessario eseguito a campionamento/prova SPT ultimati, in modo da evitare che il prelievo o la prova interessino uno strato di terreno disturbato dal getto di fluido

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

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

Il recupero percentuale di carotaggio sarà annotato come sommatoria, espressa in percentuale, della lunghezza dei singoli spezzoni recuperati in rapporto alla lunghezza totale del tratto perforato.

L' indice R.Q.D., calcolato come sommatoria, espressa in percentuale, della lunghezza dei singoli spezzoni maggiori o uguali a 10 cm recuperati in rapporto alla lunghezza totale del tratto perforato, sarà annotato considerando le sole discontinuità naturali presenti nella roccia, raggruppando tratti perforati piuttosto omogenei da questo punto di vista.

La percentuale di recupero modificata (RQD) dove il grado di alterazione non è intenso o elevato, verrà determinata in accordo alla seguente espressione:

$$RQD = \frac{\sum l^i}{l_f} \times 100$$

per:

li = singole lunghezze dei pezzi di carota maggiori di 10 cm

lf = lunghezza totale del tratto perforato

Le dimensioni di ciascun spezzone di roccia saranno stimate ed annotate individuando classi di lunghezze differenti fra loro di 5 cm una dall'altra.

Il tipo e lo spessore del riempimento dei giunti saranno definiti precisando composizione granulometrica e/o mineralogica e la compattezza dello stesso. In particolare, si deve precisare se all'interno del giunto si nota materiale trasportato e deposto o materiale derivato dal disfacimento o dalla frizione della roccia.

Per quanto non ulteriormente precisato valgono le indicazioni della ISRM (Suggested Methods). Tutti gli elementi sopraelencati dovranno figurare in moduli stratigrafici appositi.

➤ Fluidi di circolazione

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

- acqua;
- fango bentonitico;
- fanghi polimerici.

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

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

L'Impresa potrà proporre l'uso di fluidi diversi dai sopra elencati, con la condizione che in ogni caso il fluido prescelto, oltre ad esercitare le funzioni di raffreddamento, 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 e che, comunque, sia biodegradabile.

➤ Carote estratte

Le carote estratte nel corso della perforazione verranno sistemate in apposite cassette catalogatrici (in legno, metallo, plastica o similari), munite di scomparti divisori e coperchio apribile a cerniera. Le carote coesive verranno scortecciate adeguatamente (taglio trasversale di almeno 5 cm), le lapidee lavate. La documentazione fotografica verrà realizzata immediatamente dopo le succitate procedure.

Dei setti separatori suddivideranno i recuperi delle singole manovre, recando indicate le quote rispetto al p.c.

Negli scomparti saranno inseriti blocchetti di legno o simili a testimoniare gli spezzoni di carota prelevati ed asportati per il laboratorio con le quote di inizio e fine di tali prelievi.

➤ Documentazione finale

Si dovrà compilare una scheda stratigrafica del sondaggio completa di tutte le indicazioni necessarie alla descrizione con criteri geologici e geotecnici del materiale carotato, che con la dicitura: "bozza", dovrà essere inviata entro 24 ore al Committente. Eventuali ritardi comporteranno riduzioni sul compenso per perforazione, comprese tra il 5÷20 %, a giudizio insindacabile dell'AIPO.

Sulla scheda stratigrafica devono essere specificati:

- date di perforazione

- metodo di perforazione
- attrezzature impiegate
- diametri di perforazione e di rivestimento
- tipo di fluidi di circolazione impiegati
- quota della testa foro rispetto a livello marino e coordinate planimetriche

La descrizione stratigrafica in bozza sarà compilata in modo tale da specificare, per ciascuno strato ed in forma sintetica ma efficace, quanto relativo ai punti sottoelencati:

- tipo di terreno
- condizioni di umidità naturale
- consistenza
- colore
- struttura
- particolarità
- litologia ed origine
- caratteri strutturali del sondaggio (per sondaggi geomeccanici)

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

La scheda stratigrafica, inoltre, dovrà essere completa della documentazione fotografica delle cassette catalogatrici.

5.5 Sondaggio geognostico ad andamento direzionato

➤ Descrizione

Vengono realizzati per definire la litostratigrafia del terreno secondo traiettorie suborizzontali o comunque orientate.

➤ Modalità esecutive

I sondaggi devono essere eseguiti a carotaggio integrale del terreno attraversato. Le attrezzature e le modalità di esecuzione, salvo accorgimenti necessari per garantire il recupero di carote in percentuale non inferiore all'80%, sono analoghe a quelle previste per gli altri tipi di sondaggi.

➤ Documentazione finale

La documentazione del sondaggio geognostico ad andamento direzionato sarà eseguita secondo i criteri già riportati per gli altri tipi di sondaggio.

5.6 Campionamento geotecnico nei sondaggi

Per la determinazione delle proprietà fisiche e meccaniche dei terreni devono essere prelevati campioni che mantengano la struttura, il contenuto d'acqua e l'eventuale consistenza propri del

terreno nella sua sede (campioni indisturbati); per la determinazione, in generale, delle sole proprietà fisiche che devono essere prelevati campioni senza particolari accorgimenti contro la perdita di umidità (campioni rimaneggiati). In terreni rocciosi vengono prelevati spezzoni, di idonea lunghezza, di carota lapidea da cassetta, numerandoli e specificando quota di prelievo e verso (alto/basso), scartando spezzoni visibilmente fessurati.

➤ Modalità esecutive: Campioni indisturbati

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

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

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

- coefficiente di spoglia interna:

$$c_i = \frac{D_i - D}{D} \times 100 = 0.0 \div 1.0$$

- diametro utile ≥ 85 mm
 - L = lunghezza utile della fustella
 - D_i = diametro interno della fustella
 - D_{est} = diametro esterno della fustella
 - D = diametro all'imboccatura della fustella

5.7 Installazione piezometro a tubo aperto

➤ Descrizione

I piezometri a tubo aperto sono impiegati per misurare il livello di falda.

➤ Modalità esecutive

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

Il piezometro fessurato della lunghezza di 4 ÷ 6 m e sarà posizionato alla distanza di 1 m dall'estremità inferiore del tubo piezometrico; la finestratura avrà apertura di 0,4 ÷ 1,0 mm.

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

Le modalità di installazione saranno le seguenti:

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

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

➤ Documentazione finale

Per ciascun piezometro installato, si dovrà riportare su apposita scheda:

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

6 Prove in situ

6.1 Prova di penetrazione dinamica SPT

➤ Descrizione

La prova penetrometrica standard o prova penetrometrica dinamica (SPT – Standard Penetration Test) è un tipo di indagine geotecnica per ricavare e studiare le caratteristiche di un terreno, tramite la determinazione della sua resistenza alla penetrazione.

➤ Modalità esecutive

La prova si eseguirà infiggendo nel terreno alla base del sondaggio un campionatore per tre tratti consecutivi, il primo di 150 mm, annotando il numero di colpi necessario per la penetrazione.

Si dovrà annotare l'eventuale affondamento del campionatore per peso proprio delle aste.

Il campionatore dovrà essere in acciaio indurito, con superfici lisce apribili longitudinalmente, avente le seguenti caratteristiche generali:

Diametro esterno – $\varnothing_{est} = 51 \pm 1$ mm;

Diametro interno – $\varnothing_{int} = 35 \pm 1$ mm;

Lunghezza minima escluso tagliante principale – $L_{min} > 457$ mm;

Lunghezza scarpa tagliante terminale con rastremazione negli ultimi 19 mm - $l = 76 \pm 1$ mm.

Il campionatore sarà dotato di valvola a sfera e aperture di scarico a sfiato.

Non è prevista la dotazione di punta conica per la sostituzione del tagliante terminale.

Salvo nel caso di terreni molto compatti o ricchi di ciottoli, l'Impresa potrà utilizzare la punta conica, dandone preventiva comunicazione alla DL.

Le aste di collegamento tra il campionatore e la sonda in superficie dovranno essere corrispondenti alle tipologie elencate nella seguente tabella.

Diametro (mm)	Peso per metro lineare (kg)
40.5	≈4.23
50	≈7.23
60	≈10.03
70	≈10.00

Tabella 6.1

Aste per prova SPT

Le aste dovranno essere diritte, ben avvitate in corrispondenza dei giunti e con flessione totale della batteria pronta per la prova $< 0.1\%$.

Il dispositivo di sollevamento automatico del maglio dovrà essere del peso totale < 115 kg, e tale da garantire la caduta della massa battente senza rilevanti attriti.

La massa battente e l'altezza di caduta dovranno essere pari a:

Peso massa battente – $P = 63,5 \pm 0,5$ kg

Altezza caduta – $h = 760$ mm \pm 2 mm

L'esecuzione della prova comporterà l'infissione del campionatore per tre tratti da 150 mm, il primo detto di avviamento, è comprensivo dell'eventuale penetrazione per peso proprio della batteria di aste, il relativo numero di colpi è individuato con N1.

Se con $N1 = 50$ colpi l'avanzamento dell'infissione è inferiore ai 150 mm, l'infissione dovrà essere sospesa.

Se invece il tratto di avviamento è superato con $N1 \leq 50$ colpi, la prova prosegue ed il campionatore viene infisso per un secondo tratto di 300 mm, contando separatamente il numero di colpi necessari all'avanzamento per la penetrazione dei primi e dei secondi 150 mm ($N2$ e $N3$), sino al limite di 100 colpi ($N2 + N3 \leq 100$ colpi).

Se con $N1 + N3 = 100$ colpi non si raggiunge l'avanzamento di 300 mm, l'infissione viene sospesa e la prova si dovrà considerare conclusa, arrestando la relativa penetrazione.

➤ Documentazione finale

Per ciascuna prova eseguita, si dovrà riportare quanto segue:

- diametro e profondità della eventuale tubazione provvisoria di rivestimento del foro;
- profondità raggiunta con la manovra di perforazione o pulizia;
- profondità inizio prova;
- penetrazione, per peso proprio e delle aste, del campionatore;
- numero di colpi per l'infissione dei tratti preliminare e di prova (suddiviso in due parti da 150 mm);
- diametro e peso per metro lineare delle aste impiegate;
- lunghezza e descrizione geotecnica del campione estratto;
- tipo di campionatore (aperto o chiuso) impiegato.

6.2 Prova pressiometrica

➤ Descrizione

Si esegue per misurare la deformazione del terreno sollecitato mediante espansione radiale di una sonda cilindrica posta a contatto con le pareti del foro stesso.

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

➤ Attrezzatura

Sonda cilindrica ad espansione idraulica, costituita da una cella centrale di misura espandibile radialmente e da due celle di confinamento poste alle estremità della cella di misura; le celle di confinamento devono impedire, durante la prova, deformazioni della cella di misura che non siano

quelle radiali. La sonda potrà avere diametro compreso tra 44 mm e 74 mm, con una lunghezza complessiva come somma delle celle di guardia e di misura pari ad almeno 6 volte il diametro.

Le pareti della cella di misura consisteranno di una membrana interna di gomma e di un involucro deformabile esterno in grado di adattarsi alla forma progressivamente assunta dalle pareti del foro nel corso della prova. La membrana potrà essere protetta da un involucro esterno a lamelle metalliche parzialmente sovrapposte, qualora reso necessario della natura del terreno.

L'apparato di espansione delle celle deve permettere di variare il volume e la pressione all'interno delle stesse in forma del tutto regolabile e controllabile mediante la centralina di misura. La cella di misura sarà espansa mediante pressione idraulica (tipo Menard GB); le celle di confinamento mediante pressione idraulica o di gas (tipo Menard GC).

I tubi di connessione delle celle con gli apparati di espansione e misura saranno di tipo plastico rigido, preferibilmente coassiali, con gas a pressione regolabile nell'intercapedine in modo da prevenire e contenere le variazioni di volume in corso di prova.

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

Sarà presente un dispositivo per l'amplificazione di almeno 50 volte la sensibilità di lettura delle variazioni di volume, da impiegarsi quando tali variazioni diventino inferiori a 0.5 cm³ per incrementi di pressione di 1 bar.

La perforazione del foro nel quale eseguire la prova dovrà essere eseguita con tutti i possibili accorgimenti necessari per evitare disturbi delle pareti e del terreno circostante, precauzioni che divengono tanto più necessarie quanto più i terreni non sono lapidei o anche semplicemente litoidi.

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

Saranno ammesse varie tecniche di perforazione, in relazione al tipo di terreno, con preferenza per il carotaggio integrale con carotieri semplici e doppi, preferibilmente corone diamantate o comunque molto affilate, con pressione applicata all'utensile in fase di avanzamento inferiore a 200 kPa, numero di giri inferiore a 60 r.p.m., pressione di fluido contenuta e tendenzialmente inferiore a 15 l/min. La tecnica di perforazione dovrà essere comunicata alla DL.

Il diametro di perforazione sarà definito sulla base del diametro della sonda da utilizzare per la prova, e nel rispetto della seguente espressione:

$$1.03 D < Dh < 1.20 D$$

dove:

D = diametro sonda pressiometrica

Dh = diametro foro

➤ Taratura

Prima di iniziare la prova, si procederà alla taratura del sistema determinando quanto segue:

- perdite di pressione: legate all'inerzia della cella di misura, che deve essere misurata espandendo la stessa alla pressione atmosferica mediante incrementi di pressione da 10 kPa ciascuno, da mantenersi per 60 sec, con letture di volume al termine di tale tempo. Se richiesto dalle successive modalità di prova, la taratura si eseguirà con incrementi di volume della sonda pari al 5% del volume V, da applicarsi in 10 sec e mantenuti per 60 sec prima della lettura di pressione. Queste misure dovranno essere eseguite prima di ogni prova o a giudizio della DL; sempre e necessariamente ad ogni cambio della membrana della cella di misura.
- perdite di volume: dovute all'espansione dei tubi di collegamento. Saranno predeterminate pressurizzando progressivamente l'apparato di prova in superficie dopo aver chiuso la sonda in un contenitore metallico che ne impedisca ogni espansione, registrando pressioni e volumi.

Il livello piezometrico nel foro deve essere misurato immediatamente prima della prova in foro e registrato.

➤ Modalità esecutiva

Prima di posizionare la sonda pressiometrica nel foro, si procederà all'accurata lettura del volume V (volume della cella di misura alla pressione atmosferica).

Tutti i circuiti saranno disaerati e i manometri azzerati con sonda a piano campagna.

Il circuito per il controllo dei volumi sarà quindi chiuso e la sonda calata nel foro in queste condizioni.

La profondità di prova viene assunta essere quella corrispondente al punto medio della cella di misura.

Preparato il foro, che deve essere perfettamente pulito, la sonda pressiometrica sarà posizionata alla quota indicata dal programma. In accordo alle indicazioni del programma, la prova pressiometrica potrà essere eseguita in conformità ai due metodi descritti di seguito.

Si noti che la pressione che deve essere mantenuta nelle celle di confinamento laterale durante la prova deve essere sempre inferiore a quella agente all'interno della cella di misura e sarà definita in base alla espressione:

$$Pg = Pr + Pw - Pd$$

dove:

Pg = pressione celle di guardia

Pr = pressione letta al manometro

Pw = pressione idrostatica agente tra unità di misura e sonda pressiometrica a quota prova

Pd = differenza di pressione tra cella di misura e celle di guardia.

La prova può essere condotta attraverso le due seguenti procedure:

Metodo degli uguali incrementi di pressione

La sonda verrà posizionata e la pressione incrementata con uguali intervalli di crescita, fino a che l'espansione della cella nel corso di un incremento di carico diventa maggiore di circa 1/4 dell'originale volume della cella di misura.

I valori di ciascun incremento dovranno essere in accordo al programma o definiti nel corso della prova stessa, e comunicarli alla DL; in ogni caso si raccomanda l'impiego di 7 - 10 incrementi.

Metodo degli uguali incrementi di volume

La sonda verrà posta in posizione ed il volume della cella di misura aumentato con incrementi uguali, di valore pari a 0.05 - 0.1 volte il volume iniziale V, fino ai limiti naturali dell'apparato di prova.

In entrambe le procedure di prova, le letture relative alle variazioni di volume della sonda (quindi del terreno) dovranno essere effettuate dopo 30 sec e dopo 60 sec dall'applicazione dell'incremento di pressione o volume; le misure dovranno essere registrate con una precisione pari a 0.2% il volume della cella di misura in condizioni di pressione atmosferica e pari al 5% del valore della pressione limite. Il programma potrà comprendere anche cicli intermedi di scarico - ricarica.

Raggiunti i massimi valori di pressione o di volume, la sonda sarà depressurizzata e riportata in superficie.

➤ Documentazione finale

Su apposita scheda verrà riportato: data

- informazioni generali per la completa ubicazione del sondaggio e della prova; nominativi degli esecutori
- dettagliata descrizione delle caratteristiche e dimensioni della attrezzatura, della sonda di prova e della membrana in particolare curve di calibrazione con diagramma pressione/volume a seguito della taratura
- livello piezometrico nel foro
- profondità del punto di prova
- tipo di prova a 30 e 60 sec dall'applicazione dell'incremento di pressione o letture di pressione a 30 e 60 sec dall'incremento di volume
- note su qualsiasi variazione rispetto alle modalità di prova diagramma volume (cm³/pressione (kPa))
- modulo pressiometrico in accordo alla espressione:

$$E_p = 2 (1 + Prt)(V_o + V_m) \frac{DP}{D}$$

dove:

E_p = modulo pressiometrico

Prt = rapporto di Poisson

V_o = volume della cella di prova alla pressione atmosferica

V_m = volume corretto nella parte centrale dell'incremento $V = V_r - V_e$, per V_r = volume da lettura a manometro e V_e = correzione volumetrica alla pressione corrispondente in base alla curva di calibrazione

- pressione limite
- descrizione di modalità e diametro di perforazione
- descrizione stratigrafica del terreno nell'intervallo di prova
- descrizione del tempo atmosferico e della temperatura

6.3 Prove dilatometriche

➤ Descrizione

La prova dilatometrica consiste nella determinazione delle caratteristiche di deformabilità di un ammasso roccioso all'interno di un foro di sondaggio ad una determinata profondità; la prova viene eseguita mediante l'espansione di una sonda dilatometrica dotata di una membrana di gomma dilatabile e di trasduttori lineari di spostamento per il rilievo delle deformazioni indotte.

La prova, se ripetuta ad intervalli regolari (ad es. 1, 2 o 5 m) lungo la verticale di sondaggio, permette di ricostruire la variazione delle caratteristiche di deformabilità dell'ammasso roccioso rispetto alla profondità. È possibile inoltre determinare, nel piano perpendicolare all'asse del dilatometro, l'anisotropia delle caratteristiche di deformabilità dell'ammasso stesso.

La prova è particolarmente indicata in ammassi rocciosi fortemente fratturati o di modesta qualità, caratterizzati da uno scarso recupero di carotaggio e che non consentono il prelievo di campioni adatti all'esecuzione di specifiche prove di laboratorio.

Normative di riferimento:

ISRM Commission on Testing Methods (1987) - Suggested Methods for Deformability Determination Using a Flexible Dilatometer with Radial Displacement Measurements

➤ Attrezzature

L'attrezzatura di prova sarà costituita da:

- tubo di calibrazione di proprietà elastiche note, con un diametro interno uguale a quello del foro di sondaggio e lunghezza simile alla lunghezza attiva della sonda;
- comparatore centesimale per la misura del diametro esterno della sonda dilatometrica, con una precisione non inferiore a ± 0.01 mm;
- sonda dilatometrica di diametro compreso tra 76 e 116 mm, della lunghezza di 1000 ÷ 1500 mm, con una lunghezza efficace comunque compresa tra 5 e 15 volte il diametro; la sonda è costituita da un corpo cilindrico in acciaio ricoperto da una membrana in gomma rinforzata, in modo da poter essere inserita nel foro di sondaggio senza essere danneggiata, ma anche abbastanza flessibile in modo da trasmettere non meno del 90% della pressione idraulica applicata;
- organo per il posizionamento della sonda all'interno del foro; deve essere garantita la misura della profondità di esecuzione con una precisione di ± 5 cm; possono essere utilizzate anche le aste di perforazione oppure apposite aste di manovra;
- sorgente di pressione (bombola d'azoto o pompa ad olio idraulico) e cavi di collegamento in grado di riempire, gonfiare e sgonfiare la sonda e di applicare e mantenere il range di pressioni richiesto;
- sistema di regolazione della pressione, in grado di mantenere costante la pressione applicata;
- sistema per la misurazione degli spostamenti, in grado di determinare il diametro del foro con una precisione di 1 μ m, costituito da almeno 3 trasduttori di spostamento aventi fondo scala non inferiore a 25 mm, alloggiati su piani diversi nella parte centrale della sonda, disposti in posizione diametrale a 60° (o 45° nel caso di 4 trasduttori) l'uno dall'altro e connessi mediante cavi elettrici ad un'unità di lettura superficiale;

- sistema per la misura della pressione, costituito da un trasduttore elettrico di pressione o da una coppia di manometri con diverso fondo scala (ad es. 1 MPa e 10 MPa), dotato di una precisione di lettura non inferiore a $\pm 2\%$ del range di pressione utilizzato per ogni prova;
- unità superficiale per la registrazione e l'elaborazione dei dati, collegata alla sonda dilatometrica, e dotata di display per la visualizzazione sia delle variazioni di diametro della membrana (uno per ciascun trasduttore) che della pressione di espansione della membrana.

➤ Preparazione del foro

Il foro di prova dovrà essere realizzato con la massima cura per garantirne la stabilità delle pareti, dato che eventuali franamenti in fase di esecuzione della prova possono provocare il bloccaggio dell'attrezzatura all'interno del foro. Il diametro del foro dovrà essere adeguato all'attrezzatura impiegata e comunque non potrà essere più largo di 6 mm del diametro della sonda dilatometrica. Si raccomanda di controllare l'interno del foro di prova con una camera televisiva, in modo da individuare fessure aperte o cavità che potrebbero danneggiare la membrana flessibile.

In caso di necessità di sostenere le pareti del foro è ammesso un rivestimento sino alla sezione superiore di prova oppure la cementazione del foro: in questo ultimo caso il carico idraulico della malta cementizia non dovrà mai essere superiore a 3 m, in modo da evitare l'iniezione della stessa nell'ammasso roccioso; il foro cementato dovrà essere quindi riperforato a distruzione di nucleo rispettando le tolleranze sopra specificate.

➤ Calibrazioni e controlli

L'attrezzatura completa dovrà essere controllata e calibrata prima di ogni serie di prove e comunque dopo ogni importante intervento, come ad es. la sostituzione della membrana. Le operazioni di calibrazione dovranno essere eseguite con una lunghezza delle tubazioni pari a quella che sarà impiegata per le prove.

Con la sonda inserita nel tubo di calibrazione dovrà essere applicata la pressione massima di prova e dovrà essere effettuato un controllo riguardante il mantenimento e le perdite della pressione. La pressione dovrà quindi essere rilasciata e di nuovo incrementata secondo il range da utilizzarsi nella prova reale, prevedendo almeno 5 intervalli di pressione (MPa) e leggendo le deformazioni (mm) corrispondenti (le letture di deformazione ai 3 trasduttori dovranno essere mediate). Dovrà quindi essere plottata una curva pressione/dilatazione media e la sua pendenza M_m (MPa/mm) dovrà essere confrontata con l'espansione teorica del cilindro ottenuta dalla teoria elastica. I valori di deformazione conseguenti allo schiacciamento della membrana così determinati dovranno essere sottratti alle deformazioni misurate in fase di prova.

La sonda dovrà poi essere gonfiata libera (senza confinamento) per determinare il fattore di correzione m per la rigidità della membrana (MPa/mm), ottenuta come la pendenza della curva pressione/dilatazione non confinata; i valori di pressione letti al manometro in fase di prova dovranno conseguentemente essere corretti per ricavare la pressione realmente applicata alle pareti del foro.

Il sistema di misura dello spostamento dovrà essere controllato indipendentemente con un micrometro: all'interno del range di misura, la precisione totale dell'attrezzatura dovrà essere costante.

➤ Modalità esecutive

Dopo aver controllato che il diametro del foro rispetti la tolleranza sopra specificata, si dovrà introdurre nel foro la sonda dilatometrica portandola fino alla profondità stabilita: tale profondità dovrà essere misurata con una precisione di ± 5 cm e registrata.

La sonda dovrà quindi essere fatta espandere sotto una pressione appena sufficiente ad assicurarne il contatto permanente con la parete del foro, senza che avvengano scorrimenti: tale pressione di alloggiamento dovrà essere la pressione minima durante la prova.

La prova dovrà essere condotta con almeno 3 cicli di carico/scarico con pressione massima progressivamente crescente fino ad un valore massimo che dovrà essere il più elevato possibile, compatibilmente con la pressione operativa di sicurezza dell'attrezzatura di prova. In ogni ciclo la pressione dovrà essere aumentata in non meno di 5 incrementi approssimativamente costanti fino a raggiungere il valore massimo.

Ogni incremento di pressione deve essere mantenuto costante durante la lettura della pressione (MPa) e della corrispondente dilatazione del foro (mm). La presenza dei 3 trasduttori di spostamento a 120° permetterà la determinazione dei valori del modulo di deformazione in funzione della direzione.

Raggiunto il valore massimo di pressione, si dovrà operare lo scarico portando la pressione al valore minimo di prova, leggendo le coppie pressione/dilatazione agli stessi intervalli di pressione utilizzati nella fase di carico.

Al fine di evidenziare eventuali comportamenti viscosi della roccia, nell'ultimo ciclo di carico la pressione massima raggiunta dovrà essere mantenuta costante fino alla completa stabilizzazione delle deformazioni, con registrazione ad intervalli di tempo opportuni, comunque non superiori a 5 minuti.

➤ Calcolo del modulo dilatometrico

Il modulo dilatometrico secante E_d (MPa) dovrà essere calcolato per ogni ciclo di prova, sia in fase di carico che di scarico, secondo la seguente espressione:

$$E_d = (1 + V_R)D \frac{\Delta P_i}{\Delta D}$$

dove:

ΔP_i (MPa) = incremento di pressione all'interno del segmento considerato

ΔD (m) = dilatazione (deformazione diametrale) media del foro corrispondente

D (m) = diametro del foro di prova

V_R = rapporto di Poisson dell'ammasso roccioso

In particolare, per ciascun ciclo dovranno essere determinati i seguenti moduli:

- modulo di primo carico, calcolato in fase di carico tra la massima pressione applicata nel ciclo precedente e la massima pressione del ciclo considerato;
- modulo di scarico, calcolato in fase di scarico tra la pressione massima e la pressione minima del ciclo considerato;
- modulo di ricarico, calcolato in fase di carico tra la pressione minima del ciclo in esame e la pressione massima del ciclo precedente;
- modulo di deformazione, calcolato in fase di carico tra la pressione minima di prova e la pressione massima del ciclo considerato. I valori di deformabilità dovranno essere calcolati per

ognuna delle tre direzioni di misura e, come media, determinata sulla base della deformazione media del foro.

➤ Documentazione finale

La documentazione di ciascuna prova dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, data, nominativo dell'operatore);
- caratteristiche della sonda, metodo, diametro di perforazione e tipo di fluido impiegato;
- localizzazione dei tratti di foro rivestiti o cementati;
- livello piezometrico della falda;
- profondità della sezione di misura;
- descrizione dell'ammasso roccioso nel tratto di prova, con particolare riguardo alle caratteristiche geomeccaniche delle discontinuità;
- caratteristiche della attrezzatura impiegata per la prova;
- metodo utilizzato per la calibrazione e risultati;
- tabelle con le letture registrate durante la prova, includendo i valori non corretti e quelli corretti;
- diagrammi pressione/dilatazione (deformazione diametrale) per ogni trasduttore;
- diagramma pressione/dilatazione media;
- diagramma polare (nel piano perpendicolare al foro) dei valori di dilatazione, in funzione della posizione del trasduttore e della pressione applicata;
- diagramma dilatazione/tempo a pressione costante relativo alla massima pressione applicata dei singoli trasduttori e della media dei trasduttori;
- schema di calcolo e relazioni matematiche per il calcolo dei moduli elastici e di deformabilità;
- tabelle riassuntive e grafici dei moduli elastici e di deformabilità calcolati;
- copia dei certificati di calibrazione del manometro o del trasduttore di pressione e dei trasduttori di spostamento di data non anteriore a sei mesi rispetto a quella di esecuzione dei lavori.

6.4 Specifiche tecniche indagini BHTV

➤ Descrizione della prova:

La prova, da eseguirsi in corrispondenza del sondaggio realizzato, e lungo gli ultimi 50 m della verticale, consiste nell'inserimento all'interno del foro di sondaggio di uno scanner acustico (in presenza di acqua).

La telecamera acustica (BHTV) utilizza le onde acustiche per indagare le pareti del foro di sondaggio con acqua. Sono possibili applicazioni di tipo geomeccanico e ispezioni per controllare la condizione dell'eventuale rivestimento del foro.

➤ Modalità Esecutive:

Una volta terminato il sondaggio sarà inserita all'interno del foro la telecamera ritenuta più adatta in funzione delle condizioni del foro (ottica in assenza di falda, acustica se sottofalda).

La prospezione sarà eseguita lungo gli ultimi 50 m della verticale realizzata.

➤ Documentazione:

La documentazione relativa a ciascuna prova dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, data, nominativo dell'operatore);
- metodo, diametro di perforazione e tipo di fluido impiegato;
- livello piezometrico della falda;
- profondità del tratto di prova;
- log BHTV e loro interpretazione.

6.5 Prove di permeabilità in sondaggio tipo Lefranc

➤ Descrizione

Prova di permeabilità da eseguirsi in fase di avanzamento della perforazione in terreni non rocciosi sottofalda o fuori falda, in quest'ultimo caso dopo avere saturato con acqua il terreno.

La prova è destinata a misurare la conducibilità idrica orizzontale del terreno.

➤ Modalità esecutive

Si esegue misurando gli assorbimenti di acqua nel terreno, facendo filtrare l'acqua attraverso un tratto di foro predeterminato. Nel caso di terreni a conducibilità non elevata si esegue a carico idraulico variabile; a carico idraulico costante nel caso di elevata conducibilità.

Le modalità esecutive di ciascuna prova saranno le seguenti:

- perforazioni con carotiere fino alla quota di prova;
- rivestimento del foro fino alla quota raggiunta dalla perforazione, senza uso di fluido di circolazione almeno negli ultimi 100 cm di infissione;
- inserimento nella colonna di rivestimento di ghiaia molto lavata fino a creare uno spessore di 60 cm dal fondo foro;
- sollevamento della batteria di rivestimento di 50 cm, con solo tiro della sonda o comunque senza fluido di circolazione;
- misura ripetuta più volte del livello d'acqua nel foro;
- nel caso di terreno fuori falda, immissione continua di acqua pulita nel foro per almeno 30 minuti primi;
- esecuzione della prova.

Carico idraulico variabile

Riempimento con acqua fino alla estremità del rivestimento.

Misura del livello dell'acqua all'interno del tubo (senza ulteriori immissioni) a distanza di 14", 30", 1', 2', 4', 8', 15' dall'inizio dell'abbassamento, fino all'esaurimento del medesimo o al raggiungimento del livello di falda.

Carico idraulico costante

Immissione di acqua pulita nella batteria di rivestimento fino alla determinazione di un carico idraulico costante, cui corrisponde una portata assorbita dal terreno costante nel tempo e misurata.

Il controllo della portata immessa a regime idraulico costante sarà determinato con contaltri di sensibilità pari a 0,1 litri. La taratura del contaltri deve essere verificata in sito riempiendo un recipiente di volume noto e di capacità superiore a 100 litri.

Le condizioni di immissione a regime costante devono essere mantenute, senza variazione alcuna, per 10-20 min.

A partire dal momento della interruzione della prova, si misureranno gli abbassamenti progressivi del livello dell'acqua all'interno del rivestimento a distanza di 15", 30", 1', 2', 4', 8', 15', proseguendo fino all'esaurimento dell'abbassamento o al raggiungimento del livello della falda.

➤ Documentazione finale

La documentazione di ciascuna prova comprenderà:

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

6.6 Prove di permeabilità in sondaggio tipo Lugeon

La prova misura l'attitudine di un ammasso roccioso ad essere interessato da circolazione idrica; si eseguirà iniettando dell'acqua in pressione entro un tratto isolato di foro di sondaggio, perforato in terreni lapidei o litici, misurando i volumi assorbiti a diverse pressioni. Il tratto di foro isolato viene realizzato mediante tubo adduttore munito di otturatore ad espansione singolo o doppio.

➤ Normativa di riferimento:

- Bollettino de Liaison des Laboratoires Routiers - Special N - Idraulica dei terreni. Aprile 1970.

➤ Attrezzatura

L'esecuzione della prova richiede l'attrezzatura elencata di seguito:

- otturatore singolo, per prove in avanzamento, ad espansione idraulica o meccanica; - otturatore doppio, per prove in risalita, a membrana espandibile idraulicamente o ad azoto. Il tubo di collegamento dei due pistoncini espandibili avrà una superficie forata $A_f \geq 2 A_t$, essendo A_t la superficie della sezione cava del tubo;
- contaltri per la misura delle portate immesse, inserito nel circuito di mandata, con sensibilità di 0,1 litri;
- manometro per la misura della pressione di iniezione, con sensibilità di 0,5 atm e certificato di taratura non anteriore a 3 mesi;
- tubi di adduzione di tipo idraulico;
- eventuale circuito indipendente di misura delle pressioni, collegato alla camera isolata per la prova, con manometro tarato.

➤ Tarature

Il contalitri dovrà essere tarato in situ prima di iniziare le prove, riempiendo un contenitore di volume noto e superiore a 100 l.

Le perdite di carico nei tubi di adduzione, in assenza di un circuito indipendente di misura delle pressioni, saranno valutate in situ con il metodo di un tubo campione, posto orizzontalmente in superficie e collegato alla pompa con l'interposizione del manometro. Si calcolerà la perdita di carico corrispondente alla portata Q come:

$$P_c = \frac{P}{l}$$

dove:

P_c = perdita di carico per metro lineare (MPa/m)

P = pressione al manometro (MPa)

l = lunghezza del tubo (m)

La prova sarà ripetuta per almeno 3 diversi valori della portata Q ottenendo una curva P_c=f(Q).

➤ **Modalità esecutive**

Esistono due tipologie di prove: la prima è realizzata durante la fase di avanzamento della perforazione, mentre la seconda si eseguirà a foro finito in risalita.

Prova in avanzamento con otturatore singolo

Se non diversamente richiesto dal committente o dalla direzione dei lavori, le prove si eseguiranno in avanzamento con otturatore singolo.

L'otturatore sarà calato nel foro dopo avere misurato il livello del fluido nel sondaggio con sonda piezometrica.

Il foro sarà privo di rivestimento; il fluido di perforazione sarà costituito da sola acqua priva di additivi.

L'otturatore sarà espanso fino ad isolare il tratto finale del foro per una lunghezza massima di 5 metri.

Si procederà ad iniettare nel tratto di prova, eseguendo 3 (o più) diversi gradini di pressione in salita e ripetendo gli stessi per i primi 2 m in discesa, misurando per ciascun gradino le portate assorbite che determinano la stabilizzazione dell'assorbimento raggiunto. Ciascun gradino di portata (a regime) sarà mantenuto per almeno 20 minuti in salita e discesa.

La scelta del valore dei gradini di pressione dipenderà dal tipo di ammasso roccioso e dagli specifici obiettivi progettuali delle prove, a discrezione del committente.

Non si supereranno comunque valori massimi di 1MPa, e solo nei casi di elevata resistenza meccanica della matrice rocciosa. In condizioni diverse è preferibile non superare pressioni di 0.3 MPa in rocce poco resistenti e di 0.5 MPa in rocce mediamente resistenti.

In condizioni di prova a scarsa profondità in rocce poco resistenti, solo litici o semilitici, si ammettono limiti massimi di pressione non superiori a 0.3 MPa.

Durante la prova si provvederà a mantenere il foro di sondaggio pieno di acqua, per osservare la perfetta tenuta idraulica dell'otturatore, resa evidente dall'assenza di variazioni di livello. Nel caso di perdite, la prova sarà interrotta e ripresa dopo i necessari interventi correttivi.

Qualora lo stato della roccia fosse tale da non assicurare la tenuta dell'otturatore, le prove saranno eseguite in avanzamento, previa cementazione e riperforazione del tratto di foro al di sopra della prova, in modo da creare una superficie adatta ad impedire perdite idriche.

Particolare cura deve avere la collocazione del manometro. Esso, infatti, deve essere installato direttamente sui tubi che sostengono il pistoncino, in modo da evitare le immancabili perdite di carico.

Il Responsabile dell'Appaltatore nominato dall'appaltatore è tenuto a registrare su appositi moduli i seguenti dati:

- numero e diametro del foro dove si esegue la prova;
- profondità del fondo del foro dal p.c.;
- profondità del pistoncino dal p.c.;
- diametro dei tubi di immissione d'acqua;
- profondità del livello della falda dal p.c.;
- altezza del manometro dal p.c.;
- eventuale cementazione eseguita.

Durante l'esecuzione della prova si devono registrare per ogni gradino di pressione:

- il tempo e gli assorbimenti per arrivare a regime;
- il tempo e gli assorbimenti con portata a regime per letture effettuate ogni 2 minuti.

Si dovrà tracciare il grafico delle portate (l/min/m) in funzione delle pressioni in camera di iniezione (MPa), per ciascun gradino in andata e in ritorno; la pressione (p) sarà quella corretta:

$$p = p_m + w \times h - p_c$$

dove:

p_m = pressione letta al manometro

w = densità dell'acqua

h = distanza verticale tra il manometro ed il livello statico della falda

p_c = perdita di carico nel circuito

Prova in risalita con otturatore doppio

Se richiesto dalla direzione dei lavori, le prove potranno essere eseguite con otturatore doppio in risalita, con modalità identiche a quanto descritto al precedente paragrafo. Particolare cura dovrà essere posta nel garantire la tenuta del pistoncino ad espansione inferiore, il cui comportamento non può essere osservato durante la prova.

Per l'esecuzione di prove fino a 90 m di profondità devono essere utilizzate le seguenti attrezzature:

- doppio packer completo di linee idrauliche di alimentazione dei packers stessi e delle sezioni di prova;
- pompe idrauliche con pressione massima pari a 7 MPa;
- misuratori di flusso;
- manometri e trasduttori di pressione;

Nel foro di diametro \varnothing compreso tra 60 mm e 120 mm deve essere calato un doppio packer, collegato alla superficie mediante linee idrauliche o tramite azoto, che consente di isolare il tratto di foro interessato.

Si deve procedere quindi alle misure della pressione di iniezione (di regola con un manometro posto in testa alla tubazione di immissione), della portata immessa con contatori a mulinello e del tempo di durata della prova dopo il raggiungimento delle condizioni di regime.

Si devono inoltre effettuare prove con almeno 5 diversi valori di pressione di iniezione e ciascun valore della pressione deve essere mantenuto costante per circa 10 minuti, dopo il raggiungimento della stabilizzazione degli assorbimenti (regime di equilibrio).

➤ Documentazione finale

La documentazione relativa a ciascuna prova comprenderà:

- informazioni generali con individuazione del sondaggio all'interno del quale è stata eseguita la prova;
- schema della geometria del foro, delle modalità di prova e posizione della cella filtrante;
- livello statico della falda;
- tabulato delle letture di cantiere (tempi, portate, pressioni al manometro);
- grafico della pressione effettiva in camera di prova;
- assorbimento per ciascun gradino espresso in Unità Lugeon UL (dove 1 UL = portata di 1 litro/min/m a 1 MPa);
- copia del certificato di taratura del manometro o del trasduttore di pressione, non anteriore di sei mesi alla data dei lavori

7 Prove di laboratorio geotecnico

7.1 Compressione uniassiale e triassiale su rocce

➤ Prescrizioni generali

È opportuno segnalare, per quello che concerne le rocce ed i materiali granulari, in particolare quanto segue:

- è raccomandato che la descrizione contenga delle indicazioni circa la natura geologica dei materiali o delle valutazioni sulle caratteristiche geologiche dei materiali;
- le prove meccaniche sono sostanzialmente finalizzate alla determinazione delle proprietà di resistenza;
- nel caso dei materiali granulari le prove meccaniche, da eseguirsi in specifici casi particolari, sono realizzabili solo su provini ricostituiti.

Più in generale è inoltre opportuno segnalare anche che le determinazioni e le prove sono da programmare e da eseguire in funzione del tipo di approccio e di caratterizzazione adottato dal punto di vista progettuale ed appunto di caratterizzazione geotecnica.

Con questo si intende che non è escluso che le determinazioni o le prove specificamente contemplate per le terre oppure per le rocce od ancora per i materiali granulari possano, ove possibile, essere previste e realizzate rispettivamente anche per gli altri tipi di materiali, a seconda del tipo di caratterizzazione ritenuto necessario ai fini della valutazione del comportamento o delle proprietà considerati per i materiali stessi; per fare qualche esempio: sulla "matrice" di materiali rocciosi o granulari possono essere eseguite prove contemplate per le terre; in qualche caso i campioni di rocce "tenere" possono essere trattati come campioni di terreno "duri", e viceversa; per degli elementi grossolani compresi in campioni di terre possono essere programmate prove contemplate per campioni di roccia, ecc.

➤ Descrizione

Determinazione del valore di resistenza ultima e residua alla sollecitazione di compressione triassiale, del modulo di deformabilità e del coefficiente di Poisson, su provini cilindrici rettificati aventi rapporto di snellezza L/D pari circa a 2 e diametro minimo di 60 mm.

➤ Modalità esecutive

Raccomandazioni di riferimento per le prove **triassiali**:

ISRM (1983), Parte 1 e 2.

Raccomandazioni di riferimento per le prove **uniassiali**:

ISRM (1983) Vol. 20 n°6.