



Ente Acque della Sardegna  
Ente Abbas de Sardinia



**DIGA DI MONTE PRANU SUL RIO PALMAS**  
**INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO DELLA SICUREZZA**  
**IDRAULICA AFFERENTI ALLA MANUTENZIONE STRAORDINARIA**  
**DEGLI SCARICHI E DELLE DIGHE SECONDARIE**

**STUDIO DI FATTIBILITÀ DELLE ALTERNATIVE**  
**PROGETTUALI**



Capitolato speciale d'appalto – Prescrizioni tecniche



Stefania Todde  
16.04.2025  
15:33:16  
GMT+02:00

2022\_0343\_002\_CSA\_R001\_0



Lombardi Ingegneria S.r.l.

Lombardi SA Ingegneri Consulenti



Roberto  
Meloni  
18.04.2025  
08:48:24  
GMT+01:00

Milano, Gennaio 2025

-	15.01.2025	Ros	CR/AGi
Versione	Data	Redatto	Verificato

Lombardi Ingegneria S.r.l. – Socio Unico  
Via Giotto 36, IT-20145 Milano  
Telefono +39 02 583 03 324, Fax +39 02 583 03 190  
milano@lombardi.group, www.lombardi.group  
Unità locale Roma  
Via XX Settembre 98/G, IT-00185 Roma, Italy  
Unità locale Torino  
Via R. Montecuccoli 9, IT-10121 Torino, Italy  
torino@lombardi.group, www.lombardi.group

Lombardi SA Ingegneri Consulenti  
Via del Tiglio 2, C.P. 934, CH-6512  
Bellinzona-Giubiasco, Svizzera  
Telefono +41(0)91 735 31 00  
info@lombardi.group,  
www.lombardi.group

INDICE

1.	INDAGINI IN SITO	2
	Art. 1 Specifiche tecniche per l'esecuzione di indagini geognostiche	2
	Art. 2 Metodo di esecuzione di sondaggi	2
	Art. 3 Rilievo stratigrafico	10
	Art. 4 Campionamenti durante i sondaggi geotecnici	22
	Art. 5 Prove di permeabilità tipo Lefranc	25
	Art. 6 Prove di permeabilità tipo Lugeon	28
	Art. 7 Rilievo ottico e acustico dei fori di sondaggio	32
	Art. 8 Sondaggi sonici	34
	Art. 9 Installazione piezometro a tubo aperto in foro di sondaggio	35
	Art. 10 Prova penetrometrica dinamica tipo SPT da eseguire all'interno dei fori dei sondaggi	38
	Art. 11 Prova penetrometrica statica eseguita con dispositivo a punta meccanica (CPT)	41
	Art. 12 Prove di carico su piastra	43
	Art. 13 Prova sismica a rifrazione	46
2.	PROVE DI LABORATORIO	49
	Art. 14 Prove sui calcestruzzi e/o sulla muratura dei corpi diga	49
	Art. 15 Prove su materiale roccioso	49
	Art. 16 Prove sulle terre	50

## 1. INDAGINI IN SITO

### Art. 1 Specifiche tecniche per l'esecuzione di indagini geognostiche

L'impresa esecutrice deve attenersi a quanto definito nel presente disciplinare, senza apportare variazioni al programma, alle attrezzature o alle modalità esecutive che non siano state preventivamente approvate dal Direttore dei Lavori.

Tutte le prove dovranno essere condotte alla presenza di un rappresentante dell'Ente e, se ritenuto necessario, dal geotecnico che dovrà utilizzare i risultati delle indagini oggetto del presente disciplinare, oltre che da un geologo iscritto all'Albo incaricato dall'Impresa.

L'impresa applicherà quanto di seguito specificato, fornendo personale e attrezzature pienamente rispondenti alle esigenze qualitative dell'indagine.

Durante l'esecuzione delle indagini possono essere apportate modifiche alle modalità esecutive, qualora le circostanze contingenti lo richiedano e salvo autorizzazione scritta della Direzione Lavori. In ogni caso si agirà in accordo con il Direttore dei Lavori.

Tutte le attrezzature necessarie per lo svolgimento del programma di indagine dovranno necessariamente essere presenti in cantiere dal giorno di inizio delle indagini.

Ai fini della consegna e prima dell'inizio dell'esecuzione delle indagini, l'Appaltatore dovrà consegnare:

- l'elenco dei mezzi e dei macchinari e degli utensili che utilizzerà e le specifiche caratteristiche tecniche;
- copia della Dichiarazione di Conformità, rilasciata dalla Ditta costruttrice, relativa a ciascun macchinario che utilizzerà per l'esecuzione delle indagini e delle prove.

### Art. 2 Metodo di esecuzione di sondaggi

#### Art. 2a Generale

Si fa presente che le specifiche tecniche riportate qui di seguito hanno carattere generale; per quanto invece non specificato si farà riferimento alle seguenti raccomandazioni:

- A.G.I. "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche".
- A.N.I.S.I.G. "Modalità tecnologiche e norme di misurazione e contabilizzazione per l'esecuzione di lavori di indagini geognostiche".
- Bollettino de Liaison des Laboratoires Routiers - Special N - Idraulica dei terreni.

Tali raccomandazioni si considerano accettate da parte dell'affidatario che dichiarerà, con la sottoscrizione del contratto, di conoscere perfettamente ed eseguire tutte le attività di indagine secondo quanto previsto nelle predette raccomandazioni.

I macchinari di perforazione devono essere di potenza adeguata ed attrezzati per le prestazioni da eseguire.

Qualora l'attrezzatura di perforazione installata nel cantiere non fosse ritenuta idonea allo scopo, la stazione appaltante ha facoltà di richiederne l'immediata sostituzione, sospendendo le indagini sino a

sostituzione avvenuta, senza che l'impresa possa vantare alcun ulteriore compenso. L'installazione di macchinari di perforazione in luoghi diversi da quelli concordati comporterà la reinstallazione dei macchinari e la riperforazione dei materiali attraversati nel luogo diverso da quello stabilito; ciò senza che l'impresa possa vantare alcun ulteriore compenso.

La sonda (o le sonde) impiegate dovranno avere dimensioni, potenza e caratteristiche tali da poter, senza difficoltà, raggiungere i punti di indagine ed effettuare i carotaggi e le prove previste nel programma indagini, tenendo conto delle caratteristiche dei materiali da attraversare e delle modalità di avanzamento previste.

A tal fine, l'Impresa dovrà effettuare, preliminarmente all'inizio dei lavori, un sopralluogo sui luoghi di indagine e in dettaglio su tutti i punti di indagine, per sincerarsi delle eventuali difficoltà operative e individuare la sonda e le attrezzature tali da consentire di eseguire tutte le indagini nel pieno rispetto dei tempi e delle modalità indicate in questo documento, e poter decidere possibili adattamenti dello schema di sondaggi previsto. Eventuali difformità rispetto a quanto qui indicato dovranno essere concordate con la D.L. prima dell'esecuzione delle indagini.

In ogni caso, l'Impresa non potrà vantare alcun ulteriore compenso a seguito di variazioni delle attrezzature e/o delle modalità operative impiegate, quali che siano.

Devono in ogni caso essere rispettate le norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce.

Come descritto nella relazione descrittiva del piano di indagini sono previsti i seguenti sondaggi:

#### Diga di Monte Pranu

- n. 3 sondaggi a carotaggio continuo
  - Il sondaggio MP\_S01 verrà eseguito dal coronamento della diga, in corrispondenza del concio n. 5. Per evitare i cunicoli di drenaggio e ispezione presenti all'interno del corpo diga, il sondaggio sarà inclinato di circa 12° verso valle. La lunghezza complessiva prevista è di 46 m, di cui circa 15 m penetreranno nella fondazione.
  - Il sondaggio MP\_S02 verrà eseguito dal coronamento della diga, in corrispondenza del concio n. 6. Per evitare i cunicoli di drenaggio e ispezione presenti all'interno del corpo diga, il sondaggio sarà inclinato di circa 12° verso valle. La lunghezza complessiva prevista è di 46 m, di cui circa 15 m penetreranno nella fondazione.
  - Il sondaggio MP\_S03 verrà eseguito dal coronamento della diga, in corrispondenza del concio n. 8. Il sondaggio avrà direzione verticale e lunghezza pari a 25 m (circa 10 m in fondazione).

#### Diga di Bastuppa

- n. 4 sondaggi a carotaggio continuo
  - Il sondaggio BA\_S01 verrà eseguito dal coronamento della diga, in corrispondenza del concio n. 18. Il sondaggio avrà direzione verticale e lunghezza pari a 20 m (circa 6 m in fondazione).
  - Il sondaggio BA\_S02 verrà eseguito dal coronamento della diga, in corrispondenza del concio n. 15. Il sondaggio avrà direzione verticale e lunghezza pari a 25 m (circa

8 m in fondazione).

- Il sondaggio BA\_S03 verrà eseguito dal coronamento della diga, in corrispondenza del concio n. 11. Il sondaggio avrà direzione verticale e lunghezza pari a 25 m (circa 8 m in fondazione).
- Il sondaggio BA\_S04 verrà eseguito dal coronamento della diga, in corrispondenza del concio n. 18. Il sondaggio avrà direzione verticale e lunghezza pari a 20 m (circa 6 m in fondazione).

#### Argine Coremò

- n. 3 sondaggi a carotaggio continuo eseguiti dalla cresta dell'argine con andamento verticale e lunghezza pari a 10 m;

#### Area del nuovo sfioratore

- n. 4 sondaggi a carotaggio continuo
  - Il sondaggio SFIO\_S01 verrà eseguito in prossimità dell'imbocco del nuovo sfioratore. Il sondaggio avrà direzione verticale e lunghezza pari a 30 m;
  - Il sondaggio SFIO\_S02 verrà eseguito lungo il tracciato della galleria del nuovo sfioratore. Il sondaggio avrà direzione verticale e lunghezza pari a 40 m;
  - Il sondaggio SFIO\_S03 verrà lungo il tracciato della galleria del nuovo sfioratore. Il sondaggio avrà direzione verticale e lunghezza pari a 30 m;
  - Il sondaggio SFIO\_S04 verrà eseguito in prossimità dello sbocco del nuovo sfioratore. Il sondaggio avrà direzione verticale e lunghezza pari a 15 m.

I corpi delle dighe di Monte Pranu e Bastuppa sono stati realizzati con muratura di pietrame e malta cementizia dosata 300 kg di cemento per mc e fondate su platea di calcestruzzo dosata 200 kg di cemento per mc. Non si hanno informazioni di dettaglio sulle caratteristiche meccaniche della muratura. Non si hanno informazioni di dettaglio sui materiali costituenti l'argine Coremò.

Di seguito alcune informazioni relative all'ammasso roccioso di fondazione delle dighe di Monte Pranu e Bastuppa; come per il corpo diga non si hanno informazioni di dettaglio circa le caratteristiche meccaniche dell'ammasso di fondazione. Per l'Argine Coremò non si hanno informazioni sulle caratteristiche della fondazione.

La stretta su cui è impostata la diga di Monte Pranu è rappresentata da un'area valliva, caratterizzata da fianchi piuttosto acclivi, in cui il rio Palmas ha scavato il proprio alveo in una potente pila di colate vulcaniche suborizzontali costituite da roccia resistente e compatta. Dette colate, di età oligo-miocenica sono rappresentate da banchi di ignimbriti di natura prevalentemente riolitica e riodacitica sormontate al di sopra della zona d'imposta da lave andesitiche e basaltiche anch'esse in colate suborizzontali. Al di sotto delle ignimbriti è presente un conglomerato di ciottoli nerastri di lava andesitica fortemente cementato, mentre in corrispondenza dell'alveo, per una larghezza di 30 m e per uno spessore massimo di 25 m, sono presenti depositi alluvionali di argilla mista a ciottoli. I banchi di ignimbrite hanno spessore variabile da 1.00 a 4.00 m e, pur mantenendo sempre la propria natura litoide, risultarono parzialmente scoriacei e vacuolari soprattutto nella parte basale, mentre sono decisamente litoidi ma intensamente fratturati, secondo più ordini di discontinuità, nella zona

sovrastante e anche sulle spalle al di sopra del coronamento. Le direzioni principali di discontinuità sono suborizzontale e subverticale e la spaziatura tra le singole diaclasi è mediamente di 2.00 m. Le diaclasi risultano numerose, scabre e talora aperte ma generalmente prive di riempimenti argillosi. Dalle alluvioni del rio Cabriolu e del rio Gutturu de Ponti, due affluenti di destra del rio Palmas, affiora fra Monte Pranu e Monte Pizzu una dorsale molto depressa in corrispondenza della quale sorge la diga di Bastuppa. La roccia di fondazione dello sbarramento è costituita da conglomerati di ciottoli di natura andesitica ben cementati intercalati da orizzonti di tufo generalmente molto fratturato ed alterato con rari livelli ignimbrici litoidi.

I sondaggi dovranno essere eseguiti mediante carotaggio continuo, con un diametro minimo di 101 mm. La scelta del diametro di perforazione dovrà essere tale da consentire l'esecuzione delle prove in foro previste nel programma indagini e secondo le prescrizioni contenute in questo documento.

Inoltre, l'esecuzione di carotaggi sonici che si dovranno realizzare nei fori può richiedere l'installazione nei fori di indagine, prima degli stessi sondaggi sonici e prove geofisiche in foro, di un rivestimento interno continuo, generalmente un tubo in PVC chiuso all'estremità profonda, con intercapedine tra tubo e roccia integralmente riempita da boiaccia cementizia.

Le perforazioni dovranno essere eseguite nei punti preventivamente indicati dalla stazione appaltante, in base agli elaborati presentati. L'esatta ubicazione dei singoli sondaggi sarà definita alla luce dell'effettiva raggiungibilità dei luoghi e disponibilità di spazi operativi adeguati, di concerto con la D.L., al momento della consegna dei lavori, e comunque sarà compresa all'interno dell'area indicata e in ogni caso tale da garantire il mantenimento della significatività rispetto ai fini per cui è previsto ciascun sondaggio. L'ubicazione definitiva dei punti di perforazione sarà fissata dal Direttore dei Lavori, e rimarrà comunque facoltà dello stesso variarla in funzione delle maggiori conoscenze che si avranno durante la fase esecutiva delle indagini, senza che l'appaltatore possa vantare alcun ulteriore compenso. Il dettaglio delle modalità esecutive, l'ubicazione e la profondità dei singoli sondaggi potranno essere ulteriormente precisate nella fase esecutiva dei lavori.

In fase esecutiva si dovrà tenere conto degli inevitabili scarti tra l'asse teorico di perforazione e l'effettivo tracciato del foro. Quindi la ditta esecutrice delle perforazioni dovrà garantire uno scarto massimo dall'asse teorico delle perforazioni inferiore allo **0.3% per la diga di Monte Pranu e allo 0.5% per gli altri sondaggi**. Particolare attenzione dovrà essere posta nell'esecuzione dei sondaggi inclinati nella diga di Monte Pranu. In particolare, prima dell'esecuzione delle indagini dovrà essere verificato che l'inclinazione del sondaggio sia compatibile con la reale ubicazione dei cunicoli di drenaggio/ispezioni al fine di evitare di intercettare gli stessi durante le operazioni di perforazione. Inoltre, dovrà essere altresì verificata che l'inclinazione scelta garantisca una certa distanza di sicurezza della perforazione rispetto al paramento di valle.

A tale fine è previsto che durante le perforazioni l'impresa esecutrice dei lavori monitori con opportuna strumentazione la verticalità dell'asse di perforazione e in caso di superamento delle prescrizioni appresti tutti i possibili correttivi per far rientrare le perforazioni all'interno delle prescrizioni. Nel caso in cui non sia possibile riportare la perforazione all'interno delle già menzionate prescrizioni l'impresa

dovrà procedere alla chiusura del foro realizzato e ad una nuova perforazione, il tutto interamente a suo carico, quindi senza poter richiedere alcun compenso o onere.

### **Art. 2b Metodi di Perforazione**

Tutte le perforazioni dovranno essere eseguite a carotaggio continuo. Dovranno essere prelevati, senza soluzione di continuità, campioni rappresentativi dei materiali attraversati e dovrà essere rilevata la completa stratigrafia. L'esecuzione di sondaggi a carotaggio continuo dovrà permettere quindi:

- la descrizione stratigrafica in chiave strutturale, geotecnica e geomeccanica dei materiali incontrati nella perforazione;
- il prelievo di campioni;
- l'esecuzione in foro di prove geotecniche, geomeccaniche e idrogeologiche;
- l'attrezzaggio del foro per prove di controllo e di monitoraggio;
- il rilievo del livello piezometrico della falda.

La Ditta ha l'obbligo di fornire il carotaggio del foro adottando tutte le cautele, le attrezzature e gli accorgimenti necessari per ottenere la massima percentuale di recupero. In particolare, le modalità di estrazione dell'attrezzo di perforazione, campionamento, ecc., devono essere eseguite con velocità molto bassa nel tratto iniziale per minimizzare "l'effetto pistone".

Si precisa che le percentuali di recupero del terreno, con riguardo alla natura e caratteristiche dei terreni attraversati, devono essere calcolate per ogni singola battuta di carotaggio e valutate al momento dell'estrazione del terreno dal carotiere, tenuto presente che la lunghezza di ogni singola manovra di norma non dovrà superare 1,5 m. In ogni caso le percentuali di recupero non dovranno essere inferiori al:

- 70% per terreni sciolti in genere (sabbia, ghiaia, ecc.);
- 80% per i terreni coesivi (argilla, argilla marnosa, ecc.) e rocce fratturate;
- 90% per rocce compatte in genere (calcarei, calcari marnosi, arenarie, conglomerati, gessi, anidriti, rocce ignee, rocce metamorfiche anche fratturate o scistose, ecc.).

La lunghezza esatta delle batterie di aste inserite nel foro sarà misurata e riportata, a cura del Direttore Tecnico del Cantiere, in un'apposita tabella, onde prevenire imprecisioni nella definizione delle profondità raggiunte.

#### Corpi diga e ammasso roccioso

Nei calcestruzzi, nelle formazioni rocciose e nel caso di materiali litoidi è consentito solo l'uso di carotieri doppi o tripli o similari, con diametro non inferiore a 101 mm, in modo da rendere minimo il disturbo delle carote in fase di perforazione ed estrazione. Per le sezioni del sondaggio che attraversano l'ammasso roccioso di fondazione, sarà probabilmente necessario utilizzare corone diamantate; ogni altro tipo di corona deve essere autorizzato dalla Direzione Lavori. In rocce scistose o comunque in ammassi molto fratturati dovranno essere utilizzati solo ed esclusivamente carotieri apribili (T6S).



L'uso non autorizzato del carotiere semplice comporta il non pagamento del compenso previsto per la perforazione del corrispondente tratto. Nel caso che il fatto porti grave pregiudizio all'indagine, la Ditta sarà tenuta a fornire il carotaggio eseguito correttamente, con l'uso di carotieri consentiti, del tratto già perforato con carotiere semplice non autorizzato, ricorrendo all'esecuzione di un altro foro; il tutto interamente a suo carico.

Prima di ogni operazione di carotaggio, l'operatore si accerterà dell'ottimo funzionamento del meccanismo che permette la rotazione autonoma del carotiere esterno. Il sondaggio verrà realizzato utilizzando acqua pulita come fluido di circolazione, sempre previa autorizzazione, da parte del D.L., dell'utilizzo dell'acqua come fluido di perforazione.

In generale la tecnica di perforazione deve essere adattata alla tipologia ed alla natura del materiale da perforare, mediante la scelta appropriata dell'apparecchiatura, del tubo carotiere, della corona, della velocità di avanzamento, della portata e della pressione dell'eventuale fluido di circolazione.

Il carotaggio sarà eseguito a secco o con acqua come fluido di circolazione che comunque non dovrà causare alcuna alterazione al materiale carotato. In ogni caso l'utilizzo di acqua come fluido di circolazione dovrà essere autorizzato preventivamente dalla D.L..

A prescindere dal tipo di roccia o materiale gli utensili di perforazione da utilizzare saranno comunque tali da consentire l'estrazione di tutto il materiale interessato dal carotaggio senza che avvengano fratturazioni, dilavamenti o danneggiamenti dei campioni.

Le carote dovranno sempre essere estratte dagli utensili di perforazione effettuando l'espulsione dal carotiere su apposita canaletta, che permetta la raccolta del campione nella sua lunghezza e che consenta la determinazione dell'RQD%.

### Terreni

In linea generale ed in relazione alle caratteristiche dei terreni la perforazione dovrà essere eseguita secondo le seguenti linee guida:

- nei terreni coesivi: a rotazione con impiego di carotiere semplice senza fluido di circolazione oppure con impiego di carotiere doppio/triplo con debole circolazione di fluido;
- nei terreni granulari: a rotazione con impiego di triplo carotiere o con carotiere semplice senza fluido di circolazione (a secco).

La perforazione a carotaggio continuo sarà di norma eseguita mediante carotiere semplice.

Nei terreni sciolti (argilla, limo, sabbia, ghiaia, ciottoli) l'avanzamento del carotiere dovrà avvenire sempre a secco senza impiego di fluidi di perforazione per impedire il dilavamento delle frazioni fini.

Nei terreni sabbiosi e/o ghiaiosi per evitare l'essiccamento del materiale e la formazione dei cosiddetti "tappi" (materiale "bruciato") si dovrà regolare la velocità di rotazione su valori bassi e incrementare la pressione di spinta oppure avanzare per mezzo della sola pressione di spinta, senza rotazione, mediante piccoli movimenti in su e giù della batteria di aste collegate alla testa di rotazione o all'argano di sollevamento.

In presenza di terreni estremamente molli sarà necessario posizionare in prossimità della corona un porta-estrattore con estrattore a cestello per impedire al materiale di sfilarsi.

Al termine della manovra di carotaggio il carotiere dovrà essere estratto molto lentamente mantenendo il battente d'acqua il più elevato possibile con continui rabbocchi, al fine di evitare che la carota si sfilì per effetto pistone.

Nei materiali granulari per evitare che la carota si sfilì, sarà necessario eseguire il "tappo" negli ultimi 10-20 cm di carotaggio di ogni manovra essiccando il materiale in modo che si attacchi alle pareti del carotiere; questa operazione sarà eseguita mediante rotazione e spinta sull'utensile.

Per le operazioni di estrazione della carota dovrà essere utilizzato un estrusore idraulico oppure una scarotatrice dotata di un regolatore della pressione di estrusione e di un tampone a tenuta che impedisca il contatto della carota con il fluido di spinta.

In generale la tecnica di perforazione deve essere adattata alla tipologia ed alla natura del materiale da perforare, mediante la scelta appropriata dell'apparecchiatura, del tubo carotiere, della velocità di avanzamento, della portata e della pressione dell'eventuale fluido di circolazione.

Il carotaggio sarà eseguito a secco o con acqua come fluido di circolazione che comunque non dovrà causare alcuna alterazione al materiale carotato. In ogni caso l'utilizzo di acqua come fluido di circolazione dovrà essere autorizzato preventivamente dalla D.L..

Prima di ogni manovra di campionamento o di prova geotecnica in foro dovrà essere misurata con precisione la profondità del foro utilizzando uno scandaglio a filo graduato. Qualora vi sia differenza tra la quota raggiunta con la perforazione e la quota misurata si deve procedere alla pulizia del foro con apposita manovra.

Per evitare franamenti delle pareti del foro, la perforazione potrà essere eseguita impiegando una tubazione metallica provvisoria di rivestimento. La necessità del rivestimento provvisorio è da verificarsi in relazione alle reali caratteristiche del terreno.

La stabilità del fondo foro dovrà essere assicurata in ogni fase della lavorazione con particolare attenzione nei casi in cui il terreno necessiti di rivestimento provvisorio.

#### **Art. 2c Chiusura e sistemazione finale ed identificazione del foro**

Ogni foro di sondaggio non utilizzato per l'installazione di strumentazione di monitoraggio, ultimata l'indagine, dovrà essere debitamente chiuso superiormente con un tappo, riportante in modo chiaro ed indelebile il contrassegno del foro (sigla e numero). Al termine dell'indagine, a meno di esplicite diverse indicazioni da parte della D.L., ciascun foro verrà intasato, procedendo dal fondo verso la superficie, mediante l'inserimento di materiali indicati dalla D.L.. (malte cementizie, miscele cementizie, iniezioni di miscele cementizie addizionate di bentonite o argilla, immissione di sabbia).

#### **Art. 2d Cassette catalogatrici**

Tutte le carote andranno conservate con cura, disposte in opportune cassette e protette, in modo da facilitare i successivi rilievi e prelievi di campioni.

Le carote provenienti dai sondaggi a carotaggio continuo verranno sistemate in apposite cassette catalogatrici in plastica preformata, munite di scomparti divisorii e coperchio apribile a cerniera o dotato di fascette di chiusura. Tali cassette, di consistenza tale da poter essere trasportate ed impilate, hanno

dimensioni di circa 1,0 x 0,6 x 0,15 m e devono essere atte a contenere max 5 m di carotaggio. Non sono ammessi campioni consegnati in buste di plastica o in altri contenitori. Le carote coesive verranno scortecciate, le carote lapidee saranno lavate. Appositi setti separatori suddivideranno i recuperi delle singole manovre, con l'indicazione precisa delle quote di riferimento di ciascuna manovra rispetto al p.c..

Negli scomparti saranno inseriti blocchetti di legno o simili a testimoniare gli spezzoni di carota eventualmente prelevati ed asportati per il laboratorio (campioni rimaneggiati, indisturbati, ecc.), con le quote di inizio e fine di tali prelievi.

Sul coperchio e su un lato della cassetta dovranno essere indicati in modo indelebile e chiaro:

- committente,
- progetto,
- contrassegno del foro (sigla),
- località, data di perforazione,
- intervallo di profondità perforato riferito alle carote contenute.

Sulla parte frontale dovranno essere chiaramente indicate le quote progressive delle carote.

Le cassette dovranno essere tempestivamente trasportate e conservate in ambienti riparati dalle intemperie alla fine di ciascuna giornata lavorativa, al fine di garantire la conservazione dei campioni, fino al loro trasporto alla sede definitiva, indicata dalla D.L..

Sarà a carico dell'Appaltatore, oltre la fornitura delle cassette catalogatrici, la raccolta, il trasporto e lo scarico delle cassette dai locali provvisori al Laboratorio Prove e Materiali dell'Ente o in altro sito indicato dalla D.L..

#### **Art. 2e Conferimento a discarica**

Tutti i materiali derivanti dalla realizzazione dei sondaggi, qualora presenti, non riutilizzabili per i successivi rinterri, saranno conferiti a discarica autorizzata o comunque smaltiti secondo la normativa vigente, a cura e spese dell'Appaltatore.

#### **Art. 2f Elaborati e allegati da consegnare a carico del Direttore Tecnico dell'Impresa (Geologo)**

- Informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, data, nominativi degli operatori);
- Planimetrie con ubicazione georeferenziata dei sondaggi;
- Copia dei rapporti giornalieri delle operazioni di campagna;
- Relazione tecnica riepilogativa delle attività svolte con commento finale. Tale relazione sarà redatta e sottoscritta dal Direttore Tecnico e riporterà oltre agli esiti delle prove anche una descrizione dettagliata delle attrezzature impiegate e delle modalità operative utilizzate.

Tutta la predetta documentazione sarà presentata sia in formato cartaceo che su supporto digitale.

#### **Art. 2g Strumenti a corredo della sonda disponibili per prove in cantiere**

Devono far parte del corredo della sonda i seguenti strumenti:

- scandaglio a filo graduato, per misura della quota reale di fondo del foro;
- sonda piezometrica elettrica;
- penetrometro tascabile (fondo scala 0,5 e 1 MPa) e scissometro tascabile (fondo scala 100 e 240 kPa);
- sclerometro da roccia tipo L (martello di Schmidt) per la misura della resistenza;
- profilografo a pettine (pettine di Barton) per il rilievo dei profili di rugosità dei giunti;
- calibro e spessimetro a lamelle per la misura dell'apertura dei giunti;
- HCl diluito al 5% per la classificazione di rocce carbonatiche.
- attrezzatura per Prova Point Load;

Sono compresi negli oneri di utilizzo della sonda gli oneri per l'utilizzo dei predetti strumenti da parte del Direttore Tecnico del Cantiere (Geologo) e la produzione delle relative elaborazioni.

### **Art. 3 Rilievo stratigrafico**

#### **Art. 3a Generale**

Il Direttore Tecnico del Cantiere (Geologo) realizzerà un profilo stratigrafico del sondaggio, inteso come rappresentazione della successione dei terreni attraversati dai mezzi di indagine; tale profilo sarà composto dai seguenti elementi.

#### Dati generali e tecnici

I dati generali e tecnici dovranno riportare come minimo:

- denominazione del cantiere;
- committente;
- impresa esecutrice;
- numero del sondaggio;
- coordinate plano-altimetriche della boccaforo, determinate attraverso rilievo topografico;
- inclinazione del sondaggio rispetto alla verticale:
- date di perforazione (inizio e fine);
- metodi di perforazione utilizzati nei diversi spessori;
- attrezzatura impiegata;
- utensili di perforazione (carotieri);
- diametro di perforazione;
- diametro e lunghezza del rivestimento;
- fluido di circolazione;
- tempi di manovra, di velocità e di spinta di avanzamento;
- profondità di prelievo dei campioni indisturbati e rimaneggiati;
- rappresentazione stratigrafica dei materiali attraversati;
- presenza ed ubicazione precisa dei livelli acquiferi eventualmente intercettati e relative quote di livello statico;

- natura e caratteristiche dei materiali attraversati secondo le indicazioni riportate nei seguenti sotto-articoli;
- tipologia, ubicazione e risultati sintetici delle prove in foro eseguite;
- eventuali franamenti, perdite di circolazione, cavità.

#### Parametri di perforazione.

Su richiesta della direzione dei lavori, per tutta la perforazione e/o parte di essa, dovranno essere registrati, in funzione della profondità di perforazione, tramite idonei sensori di misura collegati ai circuiti di trasmissione oleopneumatica, i seguenti parametri:

- velocità di rotazione dell'utensile ( $V_r$ );
- velocità istantanea di avanzamento ( $V_a$ );
- pressione relativa alla spinta che agisce sull'utensile di perforazione (PCS);
- pressione di iniezione del fluido di circolazione (PIF);
- pressione relativa alla coppia di rotazione trasmessa.

Ove possibile dovrà essere determinato, in continuo, anche il volume del fluido iniettato dalla pompa solidale all'attrezzatura di perforazione o opportunamente attrezzata.

#### Simboli grafici per rappresentare i materiali attraversati

Nei profili stratigrafici è necessario adottare, per una più facile lettura in corrispondenza della colonna della descrizione del materiale, simboli grafici rappresentanti i diversi tipi litologici.

#### Rilievo del livello dell'acqua nel foro

Nel corso della perforazione verrà rilevato in forma sistematica il livello dell'acqua nel foro. Le misure verranno eseguite tramite sondina piezometrica o freatimetro in particolare prima e dopo ogni interruzione di lavoro (sera, mattina, altre pause), con annotazione di quanto segue:

- livello acqua nel foro rispetto al p.c.;
- quota del fondo del foro;
- quota della scarpa del rivestimento;
- data ed ora della misura;

Tali annotazioni devono comparire nella documentazione definitiva del lavoro.

#### Riferimenti normativi

- Associazione Geotecnica Italiana (1977). Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche.
- ASTM D4220-95 (2000). Standard Practices for Preserving and Transporting Soil Samples.
- ASTM D5079-90 (1996). Standard Practices for Preserving and Transporting Rock Core Samples.
- ASTM D6032-96. Standard Test Method for Determining Rock Quality Designation (RQD) of Rock Core.

- Bollettino del Servizio Geologico d'Italia, Vol. LXXXIX (1968). Codice italiano di nomenclatura stratigrafica.

Art. 3b Sondaggi in terreni

La descrizione stratigrafica deve riportare come minimo:

1. percentuale di recupero;
2. riconoscimento e descrizione del tipo di terreno;
3. condizioni di umidità naturale;
4. consistenza e addensamento;
5. colore;
6. struttura;
7. odore;
8. reazione all'HCl;
9. particolarità aggiuntive;

Per la rappresentazione e restituzione della stratigrafia si descrivono gli elementi da trattare in base alla tipologia di terreno o roccia riscontrati. Si sottolinea il fatto che alcuni dei parametri sono descrivibili sia nel caso di terreni che di rocce.

1) Recupero % di carotaggio

Per i terreni viene definito come il rapporto percentuale tra la lunghezza della carota recuperata  $L_c$  e la lunghezza della battuta  $L_b$  presa in considerazione:

$$Recupero [\%] = 100 \cdot \frac{L_c}{L_b}$$

Il suo valore viene riportato graficamente in stratigrafia inspessendo il tratto corrispondente al valore riscontrato e riportando il valore numerico in colonna.

2) riconoscimento e descrizione del tipo di terreno

a) Composizione granulometrica approssimata del terreno in esame, con riferimento alla tabella seguente.

Definizione		Diametro dei grani [mm]	Criteri di identificazione
Blocchi		> 200	Visibili ad occhio nudo
Ciottoli		60 – 200	
Ghiaia	Grossolana	20 – 60	
	Media	6 – 20	
	Fine	2 – 6	
Sabbia	Grossolana	0.6 – 2	
	Media	0.2 – 0.6	
	Fine	0.06 – 0.2	
Limo		0.002 – 0.06	Solo se grossolano è visibile a occhio nudo, poco plastico, dilatante, lievemente granulare al tatto, si disgrega velocemente in acqua, si essicca velocemente, possiede coesione ma può essere polverizzato fra le dita.
Argilla		< 0.002	I frammenti asciutti possono essere rotti ma non polverizzati fra le dita, si disgrega in acqua

		lentamente, liscia al tatto, plastica, non dilatante, appiccica alle dita, asciuga lentamente, si ritira durante l'essiccazione
Terreno organico e vegetale		Contiene una rilevante percentuale di sostanze organiche vegetali
Torba		Predominano resti lignei non mineralizzati, colore scuro, bassa densità

Tabella 1- Tipo di terreno

La descrizione dovrà essere conforme alle raccomandazioni AGI.

Si elenca per primo il nome del costituente principale, seguito dal costituente secondario nella forma:

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

b) per quanto riguarda la frazione ghiaiosa e ciottolosa è necessario descrivere il grado di arrotondamento e/o appiattimento, con riferimento alla tabella seguente.

Definizione	Arrotondamento	Descrizione
Angolare	0 – 0.15	Nessun smussamento
Sub-angolare	0.15 – 0.25	Mantiene forma originale con evidenze di smussamento
Sub-arrotondata	0.25 -0.40	Smussamento considerevole e riduzione dell'area di superficie del clasto
Arrotondata	0.40 – 0.60	Rimozione delle superfici originali, con qualche superficie piatta
Ben-arrotondata	0.60 – 1.00	Superficie interamente compresa da curve ben arrotondate

Tabella 2- Arrotondamento

Specificare inoltre la natura litologica ed il diametro massimo della ghiaia, dei ciottoli e dei blocchi e precisare il grado di uniformità della composizione granulometrica.

3) Condizioni di umidità naturale

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

- asciutto;
- debolmente umido;
- umido;
- molto umido;
- saturo.

È fondamentale nell'interpretazione descrivere la condizione propria del terreno naturale, escludendo quanto indotto dalla circolazione di fluido connesso alle modalità di perforazione adottate.

4) Consistenza e addensamento

Per i terreni coesivi e semicoesivi verrà valutata la consistenza del terreno, mentre per i terreni incoerenti o granulari sarà misurato il grado di addensamento.

La consistenza dei terreni coesivi e semicoesivi sarà descritta con riferimento alla Tabella 3, misurando la resistenza al penetrometro tascabile sulla carota appena estratta dopo averla scortecciata ed applicando lo strumento nel nucleo; la frequenza di esecuzione della misura lungo una carota è di 20x30 cm.

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

Definizione	Resistenza al penetrometro tascabile (kg/cm²)	Prove manuali
Privo di consistenza	< 0,25	Espelle acqua quando strizzato fra le dita
Poco consistente	0,25 ÷ 0,5	Si modella fra le dita con poco sforzo; si scava facilmente
Moderatamente consistente	0,5 ÷ 1,0	Si modella fra le dita con un certo sforzo. Offre una certa resistenza allo scavo
Consistente	1,0 ÷ 2,0	Non si modella fra le dita. E' difficile da scavare
Molto consistente	> 2,0	E' molto resistente fra le dita e si scava con molta difficoltà

Tabella 3- Consistenza terreni coesivi

Nel caso di terreni granulari si esprimerà la consistenza in termini di addensamento, con riferimento alla tabella seguente.

N <sub>SPT</sub> (colpi/30cm)	Valutazione dello stato di addensamento	Prove manuali
0 - 4	Sciolto	Si scava facilmente con un badile
4 - 10	Poco addensato	Si scava abbastanza facilmente con badile e si penetra con una barra
10 - 30	Moderatamente addensato	Difficile da scavare con badile, o da penetrare con barra
30 - 50	Addensato	Molto difficile da penetrare; si scava con piccone
> 50	Molto addensato	Difficile da scavare con piccone

Tabella 4- Addensamento terreni granulari

5) Colore

Nel caso di sondaggi in terreno per l'identificazione di questo parametro è necessario fare riferimento alle carte colorimetriche “Munsell soil” o alla “Rock color chart”. Queste tavole forniscono dei nominativi identificativi per ciascun colore dominante, la gradazione (hue), la luminosità relativa (value) ed il tono (chroma). Nel caso di terreni grossolani il colore da descrivere è quello della matrice.

6) Struttura



La descrizione della struttura dei terreni dovrà evidenziare gli elementi significativi del deposito con particolare riferimento alla presenza o meno di discontinuità. In presenza di materiali coesivi si dovrà mettere in evidenza la presenza di tessiture brecciate (ad es. presenza di elementi consistenti in matrice molle) o di zone di taglio (superfici lisce o striate). Per la descrizione della struttura si potrà fare riferimento alla Tabella 5. La stratificazione dovrà essere descritta precisandone la spaziatura, come indicato nella Tabella 6.

Le alternanze regolari di tipi litologici diversi (ad es. sabbia e argilla) possono essere definite con il termine di “interstratificazione” o “alternanza”.

Definizione	Criteri di identificazione
Stratificata	Alternanza di strati con spessore e/o colore diverso. Spessore maggiore di 20 mm
Laminata	Alternanza di strati con spessore e/o colore diverso. Spessore minore di 20 mm
Fessurata	Presenza di fratture lungo piani definiti
Massiva	Materiale coesivo che se suddiviso in piccole porzioni mantiene identica resistenza alla rottura del terreno originario
Lenticolare	Inclusione di piccole parti di materiale differente in lenti di spessore noto (ad es. lenti sabbiose in argilla)
Omogenea	Colore e aspetto uniforme

Tabella 5- Struttura

Spessore medio	Descrizione
> 2000	Stratificazione in banchi
600 – 2000	Strati di elevato spessore
200 – 600	Strati di medio spessore
60 – 200	Strati di sottile spessore
20 – 60	Strati di spessore molto sottile
6 - 20	Laminazione
< 6	Laminazione sottile

Tabella 6- Stratificazione

7) Odore

I terreni contenenti quantità rilevanti di materiale organico presentano un caratteristico odore di vegetazione in decomposizione che dovrà essere evidenziato nel modulo stratigrafico.

8) Reazione all'HCl

La reazione all'acido cloridrico sarà descritta definendo qualitativamente l'effetto dell'acido sul materiale (nessuna reazione visibile; reazione tranquilla, con bolle che si formano lentamente; reazione violenta, con bolle che si formano immediatamente)

9) Particolarità aggiuntive

Per particolarità aggiuntive si intendono tutte quelle caratteristiche non inserite in alcuna descrizione precedente che siano significative ai fini di una schematizzazione geotecnica. Si segnala a titolo di esempio la presenza di quanto segue:

- radici;
- manufatti, riporti, materiali di discarica;
- fossili o residui organici vegetali;
- sostanze deperibili, friabili, solubili;
- effervescenza all'acido HCl in soluzione diluita al 5%

### Art. 3c Sondaggi in rocce

Per ciascuno litotipo attraversato deve essere fornita una esauriente descrizione stratigrafica e geomeccanica finalizzata all'individuazione delle caratteristiche della roccia intatta e dell'ammasso roccioso mediante la determinazione dei parametri più significativi che influenzano il comportamento dell'ammasso oggetto dell'indagine. Dovranno essere determinati i seguenti elementi caratteristici::

1. recupero % di carotaggio;
2. RQD;
3. dimensione degli spezzoni di roccia;
4. natura e caratteri strutturali;
5. grado di alterazione;
6. resistenza della roccia intatta;
7. tipo di discontinuità;
8. spaziatura delle discontinuità;
9. scabrezza delle superfici di discontinuità;
10. apertura delle discontinuità
11. grado di alterazione delle pareti delle discontinuità
12. materiale di riempimento delle discontinuità;
13. inclinazione delle superfici di debolezza.

#### 1) Recupero % di carotaggio

Per i materiali rocciosi viene definito come il rapporto percentuale tra la sommatoria delle lunghezze dei singoli spezzoni di carota  $L_{sp}$  e la lunghezza perforata  $L_c$  presa in considerazione:

$$Recupero [\%] = 100 \cdot \frac{\sum L_{sp}}{L_c}$$

Il suo valore viene riportato graficamente in stratigrafia inspessendo il tratto corrispondente al valore riscontrato e riportando il valore numerico in colonna.

#### 2) RQD (Rock Quality Designation – Recupero % modificato)

È definito come il rapporto percentuale tra la sommatoria dei soli spezzoni di carota aventi lunghezza maggiore o uguale a 100 mm ( $L_{\geq 100}$ ) ed il tratto di lunghezza perforato ( $L_c$ ) presa in considerazione:

$$RQD = 100 \cdot \frac{\sum L_{\geq 100}}{L_c}$$

Per lunghezza del tratto perforato si intende l'effettivo avanzamento, anche se minore della lunghezza del carotiere. Tale valore va calcolato considerando solo le discontinuità naturali della roccia,

apprezzando la lunghezza di ciascun spezzone lungo l'asse di carote aventi diametro  $\geq 53.10$  mm, estratte utilizzando carotieri doppi. Nell'eventualità di una rottura accidentale della carota in fase di estrazione dal carotiere o al momento della disposizione in cassetta catalogatrice, le parti risultanti devono essere conteggiate come unico pezzo.

Di norma devono essere considerate discontinuità naturali caratteristiche dell'ammasso le fratture lisce, apparentemente fresche ma non ricongiungibili e quelle contenenti prodotti di degradazione meteorica o alterazioni, elementi cementanti nonché striature.

Attraverso l'indice RQD è possibile fornire una valutazione sulla qualità della roccia presa in esame (tabella seguente).

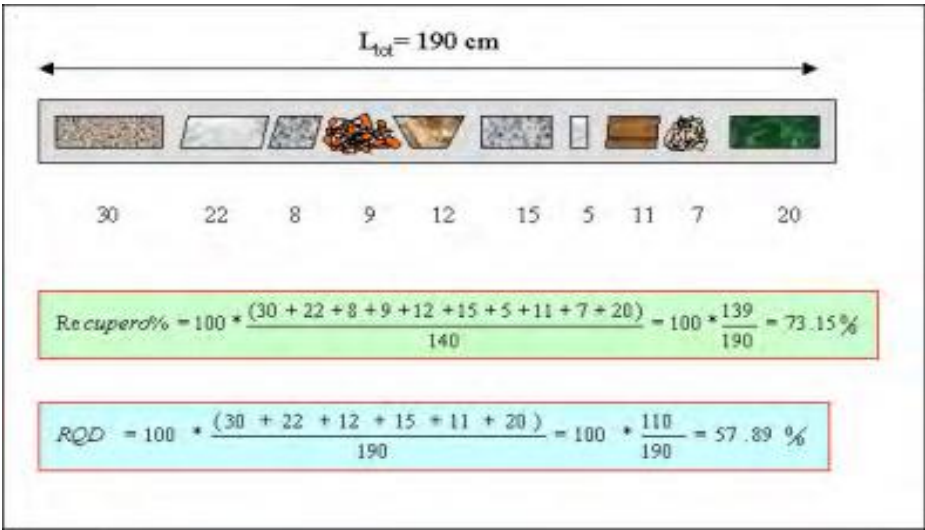


Figura 1. - Recupero % di carotaggio e RQD

RQD [%]	Qualità della roccia
0-25	molto scadente
25-50	scadente
50-75	discreta
75-90	buona
90-100	eccellente

Tabella 7- Qualità della roccia attraverso RQD

3) Dimensione degli spezzoni di roccia

La definizione di tale parametro deriva dall'esigenza di specificare e definire il valore RQD. La lettura simultanea delle voci RQD e dimensione degli spezzoni fornisce infatti una visione globale sulle caratteristiche dell'ammasso. In stratigrafia devono comparire tre colonne che, da sinistra verso destra indicano:

- spezzoni con dimensioni inferiori a 5 cm;
- spezzoni con dimensioni comprese tra 5 e 10 cm;

- spezzoni con dimensioni superiori a 10 cm;

4) Natura e caratteri strutturali

Le rocce, riferendosi alle classifiche litologiche, vengono riconosciute riportando i principali costituenti e descrivendo i caratteri strutturali relativi al loro stato di aggregazione, alle dimensioni dei granuli costituenti ed alla loro forma. Si definiscono:

- Struttura compatta: se non è possibile distinguere i componenti della roccia ad occhio nudo;
- Struttura granulare: se è possibile distinguere i componenti della roccia ad occhio nudo. A tale tipo di struttura appartiene la:
  - struttura cristallina: i singoli elementi sono costituiti da individui cristallini (es. granitoide)
  - struttura clastica: i singoli elementi sono costituiti da frammenti di rocce o minerali cementati.
- Struttura orientata: i singoli elementi di roccia sono allineati secondo una direzione. A tale tipo di struttura appartiene la:
  - struttura laminata: la roccia si divide in frammenti con forma di lamine o scaglie
  - struttura scistosa: la distribuzione dei minerali micacei avviene secondo superfici piano-parallele. La roccia è divisibile secondo tali superfici.

Indicare i piani di strato visibili, precisandone la spaziatura, definibile in accordo alla Tabella 6. Dovrà essere indicata anche la presenza di eventuali strutture sedimentarie, quali stratificazioni o laminazioni incrociate. Regolari alternanze di diversi tipi litologici (es.: sabbie ed argille, marne e calcareniti) possono essere definite con il termine di "interstratificazione":

- scistosità, piani di taglio: indicare la presenza, la spaziatura e le caratteristiche della scistosità (orientazione visiva della roccia dovuta a minerali lamellari e prismatici) e di piani di taglio (in terreni coesivi, granulari o rocciosi).
- strutture particolari: indicare la presenza e le caratteristiche di strutture particolari legate a processi di alterazione o trasporto, quali la presenza di clasti in matrice soffice o isole di materiale poco alterato in matrice profondamente alterata, e simili.

5) Grado di alterazione

Sono individuati e distinti sei gradi di alterazione per i quali però non è necessario definire in dettaglio i processi di decomposizione e di disaggregazione con riferimento alla tabella sottostante.

Descrizione	Criteri di identificazione
Fresca	Non vi sono segni visibili di alterazione, possibile una leggera decolorazione sulla superficie delle maggiori discontinuità
Leggermente alterata	La decolorazione indica una alterazione della roccia e delle superfici di discontinuità. Tutto il materiale può essere decolorato e talvolta può essere all'esterno meno resistente della roccia fresca all'interno
Moderatamente alterata	Meno della metà del materiale è decomposto e/o disaggregato come un terreno. La roccia fresca è presente come uno scheletro continuo o all'interno dei singoli blocchi

Fortemente alterata	Più della metà del materiale è decomposto e/o disgregato come un terreno. La roccia fresca è presente come uno scheletro continuo o all'interno dei singoli blocchi
Completamente alterata	Tutto il materiale è decomposto e/o disgregato come un terreno. La struttura massiva originaria è ancora largamente intatta
Suolo residuale	Tutto il terreno è trasformato in terreno. La struttura dell'ammasso è distrutta. Vi è un forte cambiamento di volume ma il terreno è rimasto in posto e non ha subito trasporti significativi

Tabella 8- Grado di alterazione

6) Resistenza della roccia intatta

La resistenza della roccia intatta dovrà essere stimata attraverso prove speditive quali:

- prova con il martello di Schmidt;
- prova di carico puntuale (Point Load Strenght Test espressa in MPa)

La prova con il martello di Schmidt consiste nel misurare l'altezza di rimbalzo di una massa che percuote la superficie della roccia con una energia prefissata. Dall'altezza di rimbalzo, per mezzo di grafici predisposti, si ottiene una stima approssimativa della resistenza a compressione della roccia. La prova di carico puntuale consiste nel portare a rottura un pezzo di carota o un frammento di forma irregolare di roccia mediante l'applicazione di un carico diametrale tra due punte di forma standardizzata. Per rendere confrontabili i risultati, i valori ottenuti devono essere normalizzati riferendoli ad un diametro standard di 50 mm.

7) Tipo di discontinuità

In prima analisi si dovrà definire la continuità della roccia evidenziando la presenza o meno di discontinuità. In secondo luogo, in presenza di discontinuità si deve definirne la tipologia e le caratteristiche principali quali spaziatura, scabrezza, apertura, grado di alterazione, materiale di riempimento e inclinazione.

Per la descrizione del tipo di discontinuità si potrà fare riferimento alla seguente nomenclatura:

- giunto: discontinuità di origine meccanica che interrompe la continuità di un corpo litologicamente omogeneo e lungo la quale non è avvenuto alcun scorrimento;
- piano di strato: discontinuità correlata alla variazione delle condizioni di sedimentazione, all'interno di una stessa formazione (rocce sedimentarie);
- faglia: discontinuità di origine meccanica lungo la quale è riconoscibile l'avvenuto scorrimento;
- contatto: discontinuità che segna il passaggio tra tipi litologici differenti;
- scistosità: piani di debolezza connessi all'orientazione preferenziale in letti e bande di alcuni componenti mineralogiche della roccia (rocce metamorfiche);
- clivaggio: superfici di fissilità parallele, molto ravvicinate, spesso parallele ai piani assiali delle pieghe di formazioni stratificate.

In presenza di un giunto è necessario evidenziare se esso è attribuibile all'azione meccanica del carotaggio oppure se è naturale.

Laddove possibile deve essere determinato anche il numero di famiglie di discontinuità riconoscibili

8) Spaziatura delle discontinuità

Definisce la distanza perpendicolare tra discontinuità adiacenti appartenenti alla stessa famiglia. Per la classificazione del parametro si può fare riferimento, in accordo a ISRM, alla seguente tabella.

Spaziatura media [mm]	Descrizione
> 6000	Discontinuità estremamente distanziate
2000 - 6000	Discontinuità molto distanziate
600 -2000	Discontinuità distanziate
200 – 600	Discontinuità moderatamente distanziate
60 -200	Discontinuità vicine
20 - 60	Discontinuità molto vicine
< 20	Discontinuità estremamente vicine

Tabella 9- Spaziatura

L'indice della spaziatura delle fratture  $I_f$  si determina contando il numero di discontinuità comprese in una lunghezza unitaria di carota. La determinazione di questo indice deve essere condotta subito dopo l'estrazione dei campioni dal foro in modo da evitare il conteggio delle fratture che in alcune rocce possono verificarsi per effetto dell'essiccamento.

9) Scabrezza delle superfici di discontinuità

Definisce il profilo di una discontinuità dovuta alla presenza o meno di irregolarità sulla sua superficie. La scabrezza può essere classificata secondo tre famiglie principali (piana, ondulata, a gradini) ciascuna delle quali è ulteriormente suddivisa in tre sottogruppi (rugosa, liscia, levigata). La scabrezza di una discontinuità può essere determinata in modo speditivo e nel contempo quantitativo, mediante profilometro tascabile (pettine di Barton), confrontando il suo profilo con le classi di scabrezza proposte da Barton a ciascuna delle quali corrisponde un valore del parametro adimensionale JRC (Joint Roughness Coefficient).

10) Apertura delle discontinuità

Rappresenta la distanza tra le pareti di una discontinuità, fra le quali non sia presente materiale di riempimento.

11) Grado di alterazione delle pareti delle discontinuità

Qualitativamente, il grado di alterazione all'intorno di una discontinuità può essere descritto in funzione di quanto indicato nella Tabella 8. Quantitativamente, il grado di alterazione di una discontinuità può essere stimato mediante la prova con il martello di Schmidt che permettere di determinare l'indice sclerometrico. Utilizzando l'apposito diagramma, si ricava la resistenza a compressione della parete della discontinuità (JCS: Joint wall Compressive Strenght). Il rapporto tra la resistenza della parete di una discontinuità con quella di una superficie intatta della roccia può essere rappresentativo dello stato di alterazione della discontinuità.

12) Materiale di riempimento delle discontinuità

E' rappresentato dal materiale di varia natura interposto tra le due superfici di una discontinuità .Può essere costituito da ricristallizzazioni mineralogiche (calcite), da minerali accessori (clorite, talco) oppure da argilla, limo breccia di frizione ecc. Il materiale di riempimento dovrà essere descritto sia in termini di composizione sia in termini di spessore in mm. Se il riempimento è di tipo argilloso, dovrà essere valutata anche la resistenza al taglio mediante prova con penetrometro tascabile, oppure attraverso una stima mediante quanto indicato nella seguente tabella.

Denominazione	Criteri di identificazione	Resistenza a compressione [MPa]
Argilla molto morbida	Facilmente penetrabile con il pugno	< 0.025
Argilla morbida	Facilmente penetrabile con il pollice	0.025 – 0.05
Argilla consistente	Penetrabile con il pollice con sforzo moderato	0.05 – 0.1
Argilla rigida	Intaccabile con il pollice ma con grande sforzo	0.1 – 0.25
Argilla molto rigida	Facilmente intaccabile con l'unghia del pollice	0.25 – 0.5
Argilla dura	Intaccabile con difficoltà con l'unghia del pollice	> 0.5

Tabella 10- Materiale di riempimento delle discontinuità

13) Inclinazione delle superfici di debolezza

L'inclinazione di una superficie di debolezza viene definita come l'angolo, misurato in senso orario, che il piano perpendicolare alla direzione di perforazione forma con la superficie di discontinuità.

**Art. 3d Sondaggi in calcestruzzi e/o murature**

La descrizione stratigrafica deve riportare come minimo:

Muratura

- Integrità carote di muratura;
- Presenza di malta;
- Stato di alterazione murature e malte;
- Stato di fratturazione murature;
- Zone segregate;
- Presenza armature;

Calcestruzzo

- Integrità carote di calcestruzzo;
- Stato di alterazione del calcestruzzo (ettringite, carbonatazione, ecc.);
- Stato di fratturazione (studio fratture, riempimento, orientazione , apertura, ecc.);
- Porosità ed eventuale presenza di cavità;
- Zone segregate;
- Presenza armature;

## **Art. 4 Campionamenti durante i sondaggi geotecnici**

### **Art. 4a Modalità di campionamento**

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

- a) "campioni rimaneggiati", raccolto fra i testimoni del carotaggio di qualsiasi litologia;
- b) "campioni indisturbati", prelevato con campionatore a pistone, fune, rotativo, in terreni coesivi e semicoesivi;
- c) "spezzoni di carota lapidea", prelevati nel corso del carotaggio in terreni rocciosi o manufatti in muratura e/o calcestruzzo.

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

- contenuto d'acqua (solo b);
- peso di volume apparente;
- deformabilità;
- resistenza al taglio.

I campioni devono essere prelevati tenendo conto delle esigenze dell'indagine ovvero del grado di qualità richiesto e delle quantità necessarie per le prove di laboratorio.

Tutti i campioni prelevati devono essere chiaramente contraddistinti mediante etichette inalterabili in cui siano riportate le seguenti informazioni: cantiere; numero del sondaggio e del campione; profondità di prelievo; data di prelievo; tipo di campionatore; orientamento del campione (parte alta, parte bassa). I dati relativi al numero del campione, al tipo di campionatore impiegato ed al metodo di prelievo devono essere riportati nell'elaborato della stratigrafia anche nel caso di campionamenti non riusciti. Nei campioni indisturbati si dovranno pulire accuratamente le estremità del campione rimuovendo le parti di terreno disturbato. Le estremità della fustella devono essere sigillate mediante uno strato di paraffina fusa e con due tappi chiusi ermeticamente con nastro adesivo impermeabile.

Tutti i campioni prelevati dovranno essere ricoverati in locali adatti, chiusi, asciutti prima del sollecito invio al laboratorio geotecnico.

#### Campioni rimaneggiati

I campioni rimaneggiati vengono prelevati dal materiale recuperato con il carotaggio; sono i campioni ottenuti con i normali utensili di perforazione e devono essere conservati ordinatamente nelle apposite cassette catalogatrici (campioni con grado di qualità Q1-Q2) oppure sigillati in sacchetti o barattoli di plastica a tenuta stagna per consentirne la conservazione e la misura del tenore di umidità (campioni con grado di qualità Q3); essi dovranno essere contraddistinti da un cartellino indelebile posto all'esterno del sacchetto o del barattolo, riportandone la data di prelievo, il nome del campione (rappresentato da lettere alfabetiche) e del sondaggio, nonché l'indicazione del cantiere. Tali dati dovranno essere riportati anche sulla stratigrafia del sondaggio.



La quantità necessaria per le prove di laboratorio è di circa 500 gr. per i terreni fini e di circa 5 kg per quelli grossolani. Nella scelta si avrà cura di eliminare le parti di campione alterabile dall'azione del carotiere (corteccia, parti "bruciate", tratti dilavati, ecc.). Tali campioni devono essere rappresentativi della granulometria e del materiale prelevato.

Campioni indisturbati

Sono i campioni recuperati con appositi utensili chiamati campionatori, scelti in base alle caratteristiche del terreno. Hanno un grado di qualità pari a Q4-Q5. I campionatori da utilizzare impiegano la fustella a pareti sottili in acciaio inox, nel rispetto dei seguenti parametri dimensionali:

- rapporto L/D = 8
- rapporto delle aree o coefficiente di parete:

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

- coefficiente di spoglia interna:

$$C_p = \frac{D_i - D}{D} \cdot 100 = 0,0 \div 1,0$$

secondo necessità.

- diametro utile  $\geq 85$  mm

dove:

L = lunghezza utile della fustella

D<sub>i</sub> = diametro interno della fustella

D<sub>est</sub> = diametro esterno della fustella =

D = diametro all'imboccatura della fustella.

La fustella deve essere preferibilmente in acciaio inossidabile e comunque priva di corrosione, liscia, priva di cordoli, non ovalizzata. Il prelievo dei campioni può essere eseguito, a seconda della compattezza del terreno, con l'uso dei seguenti strumenti:

1. Campionatore a pistone infisso idraulicamente (tipo Osterberg)  
Il campionatore ad infissione idraulica del pistone (tipo Osterberg) può essere utilizzato con profitto in terreni coesivi aventi resistenza al taglio < 200 kPa, in relazione alla potenza della pompa utilizzata; può essere impiegato con risultati positivi anche in sabbia fine da poco a mediamente addensata.
2. Campionatore a fune con infissione meccanica del pistone  
Il campionatore a fune con pistone agganciabile permette il campionamento in terreni la cui consistenza arresta la fustella spinta idraulicamente. Può essere utilizzato positivamente in sostituzione del campionatore Shelby di cui presenta la stessa capacità penetrativa (utilizza la spinta meccanica della batteria di aste) con i vantaggi del pistone.
3. Campionatore rotativo a pareti sottili

Il campionatore rotativo a pareti sottili, con scarpa sporgente, permette di campionare i terreni la cui consistenza arresta l'infissione a pressione della fustella. Viene spinto e ruotato meccanicamente dalla batteria di aste, in presenza di fluido di circolazione.

#### 4. Altri campionatori

I campionatori tradizionali (Shelby, Denison, Mazier) possono essere utilizzati solo in seguito alla preventiva autorizzazione della DL.

L'infissione del campionatore deve avvenire in un'unica tratta, senza soluzione di continuità e senza flessioni o rotazioni del campionatore. I campionatori a pistone devono essere costruiti in modo da poter portare alla pressione atmosferica, a fine prelievo, la superficie di contatto fra la parte alta del campione ed il pistone. Nel campione rotativo, la sporgenza della fustella dal carotiere esterno può essere regolata a priori tra 0,5 e 3 cm, ma deve poi rimanere costante durante ciascun prelievo.

Il prelievo di campioni indisturbati deve seguire la manovra di perforazione e precedere quella di rivestimento a quota; nel caso di autosostentamento del foro nel tratto scoperto non esista anche per il breve lasso di tempo necessario al prelievo, si dovrà rivestire prima di campionare avendo cura di fermare l'estremità inferiore del rivestimento metallico provvisorio 0,2-0,5 m più alta della quota di inizio prelievo, ripulendo quindi il fondo foro. Si dovrà inoltre evitare qualsiasi eccesso di pressione nel fluido di perforazione nella fase di installazione del rivestimento. A tal fine la pressione del fluido a testa foro dovrà essere controllabile in ogni istante attraverso un manometro di basso fondo scala (10 bar) da escludersi nelle fasi di campionamento Osterberg, ove sono necessarie pressioni maggiori.

#### Spezzoni di carota lapidea, di strati cementati, muratura/calcestruzzo

In terreni cementati e rocciosi si prelevano dal carotaggio spezzoni di lunghezza  $\geq 15$  cm, purché rappresentativi del tipo litologico perforato.

#### **Art. 4b Indicazioni, imballaggio e trasporto dei campioni**

Sui contenitori dovrà essere applicata una targhetta adesiva sulla quale viene indicato il cantiere di lavoro, il numero del sondaggio, la quota del prelievo, la data e il tipo di carotiere usato. Tali dati dovranno essere riportati anche sulla stratigrafia del sondaggio.

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

- committente;
- cantiere;
- numero del sondaggio;
- numero del campione;
- profondità di prelievo;
- tipo di campionatore impiegato;
- data di prelievo;
- parte alta (per campioni indisturbati e spezzoni di carota).

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

Le due estremità dei campioni indisturbati devono essere sigillate subito dopo il prelievo con uno strato di paraffina fusa e tappo di protezione, previa accurata pulizia della testa e della coda del campione. Gli spezzoni di carota devono essere puliti, paraffinati ed inseriti in un involucro rigido di protezione (contenitori cilindrici di PVC); l'intercapedine tra la carota ed il cilindro verrà riempita con paraffina fusa che verrà impiegata anche per sigillare le due estremità. A maggiore protezione delle estremità verrà applicato nastro adesivo.

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

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

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

Il trasporto verrà effettuato con tutte le precauzioni necessarie per evitare il danneggiamento dei campioni sotto la diretta responsabilità dell'impresa esecutrice fintanto che non verranno presi in carico dalla ditta incaricata per le prove.

## **Art. 5 Prove di permeabilità tipo Lefranc**

La prova di permeabilità misura la conducibilità idraulica del terreno e si esegue misurando le variazioni di livello dell'acqua nel terreno, immettendo o emungendo l'acqua in un tratto di foro predeterminato. La prova può essere eseguita a carico costante o a carico variabile; in presenza di terreni a conducibilità idraulica non elevata si esegue a carico idraulico variabile mentre nel caso di elevata conducibilità si adotta lo schema a carico idraulico costante. E' una prova di permeabilità da eseguirsi in fase di avanzamento della perforazione in terreni non rocciosi, sotto falda o fuori falda, in quest'ultimo caso dopo avere saturato con acqua il terreno

### Attrezzature

Per l'esecuzione delle suddette prove devono essere impiegate le seguenti attrezzature:

- una pompa di adeguata portata e prevalenza con tubazione di aspirazione provvista di dispositivo pescante dotato di filtro per trattenere materiali vegetali o comunque intasanti;
- un conta-litri con precisione e/o fondo scala da stabilire prima dell'inizio della prova;
- un tubo o serbatoio di immissione provvisto di una scala millimetrata, lunga almeno 1 m;
- un freatimetro millimetrato;
- un cronometro;
- una vasca di raccolta e decantazione dell'acqua;
- un tubo di lavaggio.

Operazioni preliminari

Le operazioni preliminari alla prova consistono in:

- perforazione con carotiere fino alla quota di prova senza l'impiego di fanghi, evitando di modificare le caratteristiche granulometriche e di compattezza del terreno;
- 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 (solo nel caso di terreni che tendono a franare o a rifluire);
- sollevamento della batteria di rivestimento di 50 cm, con solo tiro nella 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 prima.

Se il rivestimento provvisorio non è necessario per la stabilità delle pareti del foro, esso dovrà comunque essere utilizzato per isolare il tratto di foro effettivamente interessato dalla prova.

Al di sopra della parte di foro scoperto il rivestimento deve essere sigillato al terreno per evitare che l'acqua possa scorrere nell'intercapedine rivestimento/terreno.

Carico idraulico variabile (in terreni a bassa permeabilità) – Modalità esecutive

Il metodo a carico idraulico variabile sarà eseguito mediante:

- riempimento con acqua fino alla estremità del rivestimento;
- misura del livello dell'acqua all'interno del tubo (senza ulteriori immissioni) a distanza di 15", 30", 1', 2', 4', 8', 15', 20', 25', 30', 45', 60' dall'inizio dell'abbassamento, fino all'esaurimento del medesimo o al raggiungimento del livello di falda.

Le prove a carico variabile al di sotto del livello della falda possono essere eseguite abbassando il livello dell'acqua nel foro di un'altezza nota e misurando la velocità di risalita del livello (prove di risalita), oppure riempiendo il foro d'acqua per un'altezza nota e misurando la velocità di abbassamento del livello (prova di abbassamento).

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

$$K = A / (F \cdot T)$$

dove:

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

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

$T$  = tempo di riequilibrio (basic time-lag) ( $s$ )

Il calcolo del fattore di forma  $F$  viene eseguito con la soluzione analitica indicata da Hvorslev (1951), scelta in base alla geometria della prova.

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

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

#### Carico idraulico costante (in terreni ad alta permeabilità) – Modalità esecutive

Il metodo a carico idraulico costante sarà eseguito mediante:

- immissione di acqua pulita nella batteria di rivestimento, fino alla determinazione di un carico idraulico costante, cui corrisponde una portata assorbita dal terreno costante e misurata;
- controllo della portata immessa a regime idraulico costante che sarà determinato con contaltri di sensibilità pari a 0.1 litri. La taratura dei contaltri deve essere verificata in situ 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 dell'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.

La prova di abbassamento e la prova a carico costante possono essere eseguite anche nel terreno al di sopra del livello della falda. In tal caso però il terreno deve essere preventivamente saturato.

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

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

dove:

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

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

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

#### Documentazione

La documentazione di ciascuna prova comprenderà:

- modalità di prova (carico idraulico costante o variabile, per immissione o emungimento);
- schema geometrico della prova (diametro e lunghezza del tratto di prova non rivestito, diametro
- interno e profondità del rivestimento, caratteristiche della cella filtrante);
- livello di falda;
- tempo di saturazione (se eseguita);
- portata a regime (prove a carico costante);
- letture degli abbassamenti in relazione ai tempi progressivi;
- calcolo della permeabilità, specificando l'algoritmo ed i parametri adottati.

- eventuali note e osservazioni.

#### Riferimenti normativi

- Associazione Geotecnica Italiana (1977). Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche.
- UNI EN ISO 22282-1 (2012) Indagini e prove geotecniche - Prove idrauliche nel sottosuolo - Parte 1: Regole generali
- UNI EN ISO 22282-2 (2012) Indagini e prove geotecniche - Prove idrauliche nel sottosuolo - Parte 2: Prove di permeabilità all'acqua eseguite in un foro di sondaggio a circuito aperto
- UNI EN ISO 22282-3 (2012) Indagini e prove geotecniche - Prove idrauliche nel sottosuolo - Parte 3: Prove di pressione idraulica nelle rocce
- UNI EN ISO 22282-4 (2012) Indagini e prove geotecniche - Prove idrauliche nel sottosuolo - Parte 4: Prove di pompaggio
- UNI EN ISO 22282-5 (2012) Indagini e prove geotecniche - Prove idrauliche nel sottosuolo - Parte 5: Prove infiltrometriche
- UNI EN ISO 22282-6 (2012) Indagini e prove geotecniche - Prove idrauliche nel sottosuolo - Parte 6: Prove di permeabilità all'acqua eseguite in un foro di sondaggio a circuito chiuso.

### **Art. 6 Prove di permeabilità 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 litoidi, 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.

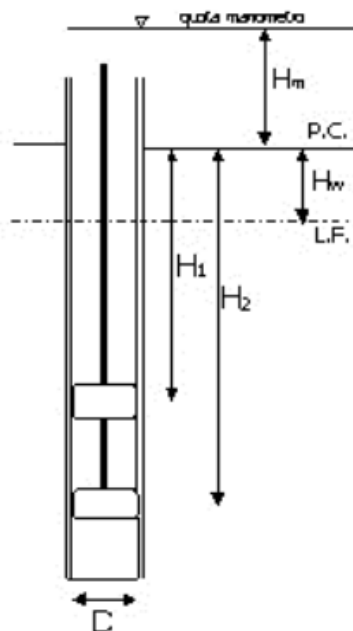


Figura 2– Schema della geometria del foro Lugeon

Le prove Lugeon saranno di norma eseguite con la metodologia esecutiva “Prova in avanzamento con otturatore singolo”. Le prove dovranno essere eseguite sotto la diretta supervisione del Direttore Tecnico dell'Impresa (Geologo), nominato dalla impresa, che procederà a sottoscrivere tutti i documenti relativi agli esiti delle prove.

#### 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  $A_f \cdot 2 A_t$ , essendo  $A_t$  la superficie della sezione cava del tubo;
- pompa centrifuga in grado di raggiungere pressioni di iniezione di 1 MPa;
- contalitri 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 0,1 atm e certificato di taratura non anteriore a 3 mesi;
- tubi di adduzione di tipo idraulico;
- circuito indipendente di misura delle pressioni, collegato alla camera isolata per la prova, con manometro tarato.

Il contaltri 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:

$$P_c = P/l$$

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:

- prova in avanzamento con otturatore singolo (realizzata durante la fase di avanzamento della perforazione);
- prova in risalita con otturatore doppio (eseguita a foro finito in risalita)

Prova in avanzamento con otturatore singolo

Per l'esecuzione di tale prova 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 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 1 MPa, 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 litoidi o semilitoidi, si ammettono limiti massimi di pressione non superiori a 0.3 MPa.

La tabella successiva sono proposti a mero scopo indicativo alcuni riferimenti in merito.

Nelle condizioni in cui si dovrà operare, è importante che la sovrappressione massima tra camera di prova e ammasso circostante (con riferimento alle condizioni idrauliche stazionarie dell'ammasso stesso, da valutare prima dell'esecuzione della prova di immissione) debba essere adeguatamente limitata al fine di non modificare la situazione esistente. In particolare, nella fascia di contatto tra calcestruzzo e roccia ci si dovrà attenere ad una sovrappressioni di non più di 2 -2,5 atm.

In forza di questo la scelta delle modalità di prova (incrementi di pressione, tempi, etc) saranno stabiliti dalla Direzione Lavori per ogni tratto di prova in funzione delle effettive caratteristiche dell'ammasso, una volta presa visione delle relative carote estratte e misurato il livello statico della falda in foro a mezzo di sondino piezometrico.

Condizioni di prova	Gradini di pressione (Mpa)
Rocce semilitoidi, litoidi o litiche a scarsa resistenza, a profondità inferiore a 5 m dal pc	0,05 - 0,15 - 0,25 - 0,15 - 0,05
Rocce a scarsa resistenza	0,1 - 0,2 - 0,3 - 0,2 - 0,1
Rocce a media resistenza	0,1 - 0,3 - 0,5 - 0,3 - 0,1
Rocce ad alta resistenza	0,2 - 0,4 - 0,8 - 0,4 - 0,2

Tabella 11- Gradini di pressione in funzione delle condizioni di prova

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 Direttore Tecnico dell'Impresa (Geologo) 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:

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

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

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 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. Il tratto di prova avrà una lunghezza non superiore a 3 m.

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).

Così come detto precedentemente le modalità di prova (incrementi di pressione, tempi, etc) saranno stabiliti dalla Direzione Lavori per ogni tratto di prova in funzione delle effettive caratteristiche dell'ammasso, una volta presa visione delle relative carote estratte e misurato il livello statico della falda in foro a mezzo di sondino piezometrico.

#### Documentazione

La documentazione relativa a ciascuna prova, sottoscritta dal Direttore Tecnico dell'Impresa (Geologo) 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 tre mesi alla data dei lavori.

#### Riferimenti normativi

- A.G.I. – Associazione Geotecnica Italiana – Raccomandazioni sulla Programmazione ed Esecuzione delle Indagini Geotecniche (1977).
- A.N.I.S.I.G. "Modalità tecnologiche e norme di misurazione e contabilizzazione per l'esecuzione di lavori di indagini geognostiche".
- Bollettino de Liaison des Laboratoires Routiers - Special N - Idraulica dei terreni. Aprile 1970.

### **Art. 7 Rilievo ottico e acustico dei fori di sondaggio**

Il rilievo televisivo di un foro di sondaggio consente la visione diretta delle condizioni stratigrafiche e strutturali della muratura e dell'ammasso roccioso perforato e l'individuazione di eventuali cavità.

Il rilievo dovrà essere effettuato sia tramite la telecamera acustica (BHTV) sia tramite telecamera ottica (OPTV). La telecamera acustica restituisce ampiezze e tempi di percorrenza di un segnale ultrasonico che vengono elaborati in modo da ottenere 'un'immagine acustica' delle pareti del foro mentre lo

scanner ottico restituisce immagini a colori reali. La scansione avviene lateralmente ed in modo circolare per entrambi i dispositivi.

#### Caratteristiche del foro di sondaggio

Il foro di sondaggio dovrà essere privo di tubi di rivestimento, asciutto o contenente acqua limpida, decantata per almeno 3 ÷ 4 ore prima dell'ispezione.

#### Modalità esecutive

La telecamera dovrà essere calata lentamente nel foro, fermandosi in corrispondenza dei particolari litologici o strutturali d'interesse, regolando opportunamente il monitor onde ottenere la migliore qualità possibile delle immagini.

Le annotazioni relative ai dati generali dell'ispezione e agli aspetti particolari di quanto osservabile saranno eseguite mediante sovrapposizione su video, con l'uso della tastiera per la videoscrittura.

Si dovrà adottare una velocità uniforme non superiore a 1 m/min e comunque tale da garantire una risoluzione finale non superiore a 0.5 mm.

Tutte le immagini su monitor, incluse le annotazioni aggiunte, dovranno essere registrate su file in formato concordato preliminarmente con la D.L.

#### Documentazione

La documentazione dell'ispezione televisiva dovrà comprendere:

- restituzione su file del rilievo televisivo, in formato di comune utilizzo e comunque concordato preliminarmente con la D.L.;
- relazione descrittiva contenente le informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, data, nominativo dell'operatore), le caratteristiche tecniche della sonda televisiva (dimensioni, tipo e caratteristiche obiettivi), la schematizzazione grafica orientata del reticolo dei piani di divisibilità rilevati durante l'ispezione, con l'indicazione di tutte le misure e le informazioni necessarie per la completa comprensione del rilievo televisivo e per le successive elaborazioni.
- documentazione fotografica a colori di tutto il tratto di foro rilevato, sviluppata a 360° con indicazione dell'orientazione
- tabella riassuntiva con indicazioni relative alla giacitura, alla tipologia, all'apertura, alla forma della traccia e al grado di alterazione di tutte le discontinuità rilevate;
- sezioni N-S lungo l'asse del sondaggio che riportino le tracce delle discontinuità rilevate;
- diagramma della densità di fratturazione, espressa come numero di fratture per metro di foro rilevato;
- diagramma equiareale di Schmidt con i poli dei piani di discontinuità rilevati per ciascuna zona omogenea in cui risulta divisibile il tratto di foro in esame;
- diagramma equiareale di Schmidt con le aree di isodensità per ciascuna zona omogenea in cui risulta divisibile il tratto di foro in esame;

- tabella con i dati giacitureali, tipologici e di apertura medi delle famiglie di discontinuità individuate.

## **Art. 8 Sondaggi sonici**

La tecnica di indagine con carotaggio sonico consiste nel rilevare la velocità e le modalità di propagazione delle onde elastiche nel materiale circostante una perforazione mediante una sonda cilindrica dotata di un emettitore di impulsi in testa e di uno o più ricevitori all'estremità inferiore.

Le caratteristiche del materiale indagato ed il suo stato di integrità influenzano, oltre che la velocità, anche l'ampiezza, la frequenza e la forma dei segnali sonici, che possono essere indagate in dettaglio con la tecnica del carotaggio continuo.

### Attrezzature

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

- sonda di prova, costituita da un corpo cilindrico di diametro generalmente compreso tra 45 e 60 mm, con emettitore sonico di tipo piezoelettrico all'estremità superiore e 1 o 2 ricevitori piezoelettrici all'estremità opposta, separati da una distanza di  $0.5 \div 1$  m e da un corpo intermedio di materiale in grado di impedire la diretta propagazione dell'impulso sonico da emettitore a ricevitore; nel caso di sonda con 2 ricevitori, anche questi saranno separati da un corpo intermedio in grado di assorbire gli impulsi diretti;
- cavi elettrici di connessione della sonda con una centralina di acquisizione e registrazione dei segnali, ubicata in superficie;
- sistema di trascinamento del cavo, dotato di motore elettrico e dispositivo per il controllo della profondità della sonda;
- PC per la visualizzazione e la successiva stampa del diagramma di velocità ("carotaggio sonico") e della diagrafia sonica ("carotaggio continuo").

### Modalità esecutive

La sonda dovrà essere inserita in un foro di sondaggio verticale, rivestito, salvo diversa disposizione scritta della direzione dei lavori o contenuta nel progetto delle indagini, con tubazione in PVC di diametro interno generalmente compreso tra 75 e 100 mm, cementata con una miscela acqua, cemento e bentonite con proporzioni in peso pari a 100, 30 e 5. Il foro dovrà essere riempito di fluido di circolazione.

La misura dovrà avvenire in due distinte fasi:

1. "Carotaggio continuo", eseguito facendo risalire con velocità costante lungo il foro la sonda con registrazione degli impulsi sonici ogni  $2 \div 5$  cm;
2. "Carotaggio sonico", eseguito in risalita, con registrazione degli impulsi ad intervalli di 50 cm, salvo diversa disposizione scritta della direzione dei lavori o contenuta nel progetto delle indagini.

### Documentazione

La documentazione di ciascuna verticale di prova dovrà comprendere:

- Informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, data, nominativo dell'operatore);
- Diagrammi della velocità delle onde P (m/s o km/s) in funzione della profondità (m);
- Diagrafia sonica a densità variabile con la sequenza dei segnali sonici (s o ms) in funzione della profondità (m);
- Diagramma del modulo di elasticità dinamico (calcolato) in funzione della profondità;
- Nota descrittiva delle operazioni, eseguite con commenti e valutazioni interpretative dei risultati ottenuti.

Per gli eventuali dati relativi alle onde S, la documentazione comprenderà anche:

- Diagrammi della velocità delle onde S (m/s o km/s) in funzione della profondità (m);
- Diagramma del coefficiente di Poisson dinamico (calcolato) in funzione della profondità;
- Diagramma del modulo di taglio dinamico (calcolato) in funzione della profondità.

### **Art. 9 Installazione piezometro a tubo aperto in foro di sondaggio**

Il piezometro a tubo aperto è costituito da tubi PVC inseriti di norma entro fori di sondaggio in presenza di una falda acquifera per la misura di livello della falda stessa. La posizione dei tratti fessurati e la qualità dei materiali da impiegare sarà decisa dal Direttore dei Lavori dopo l'esame dei dati di perforazione. Il tratto finestrato dovrà comunque essere ubicato nell'ammasso di fondazione.

#### Attrezzatura

Lo strumento è costituito da:

- Tubi filtranti in PVC, di spessore pari a  $1\pm 2$  mm, con finestrature trasversali con apertura di 0,4-1,0 mm, diametro interno compreso tra 40 e 80 mm, con giunzione a manicotto esterno. I tubi dovranno essere forniti in spezzoni di lunghezza non superiore a 3 metri.
- Tubi ciechi in PVC, di spessore pari a  $1\pm 2$  mm, con diametro interno compreso tra 40 e 80 mm e con le estremità filettate e giuntate con manicotti esterni; questi tubi dovranno avere le medesime dimensioni dei tubi finestrati.

#### Controlli e operazioni preliminari

Prima della posa in opera:

- verificare che i tubi non presentino lesioni, schiacciamenti o curvature dovute al trasporto o all'immagazzinamento, o eventuali altri difetti di fabbricazione;
- verificare che i filetti alle estremità dei tubi ed i manicotti non presentino anomalie tali da compromettere il buon accoppiamento dei tubi;
- montaggio dei manicotti di giunzione ad una estremità dei tubi con sigillatura mediante sigillanti idraulici;
- preparazione del materiale necessario alla formazione degli strati filtranti e di sigillatura (o impermeabilizzazione);
- per lo strato filtrante devono essere utilizzati sabbia e ghiaietto puliti con granulometria 1-4 mm;

- per la sigillatura (o impermeabilizzazione) devono essere utilizzate palline di bentonite precomprese con diametro 1-2 cm e ghiaietto da 2-3 cm.

#### Modalità esecutiva

La posa in opera dei piezometri deve essere eseguita secondo le seguenti modalità:

- verificare con lo scandaglio la quota del fondo foro che dovrà essere almeno 50 cm maggiore della profondità di posa della cella;
- lavare accuratamente il foro con acqua pulita immessa dal fondo fino a che non esca acqua limpida;
- verificare nuovamente la quota del fondo foro con lo scandaglio;
- sollevare il rivestimento di circa 70 cm;
- se il piezometro non è previsto a fondo foro ma ad una quota intermedia, prima dell'immissione della sabbia di fondo foro si dovrà riempire il tratto di sondaggio non utile con una miscela di acqua cemento e bentonite (dosaggio a/c/b rispettivamente 100/50/10 in peso), sigillandola infine con un tappo di bentonite;
- immettere della sabbia grossa o del ghiaietto fine (1÷4 mm) per un'altezza di circa 50 cm dal fondo,
- controllando con lo scandaglio la quota raggiunta;
- inserimento del tubo piezometrico nel foro di sondaggio, aggiungendo progressivamente gli spezzoni ditubo secondo la sequenza tratti finestrati/tratti ciechi e sigillando le giunzioni consiglianti idraulici. La giunzione dei tubi deve essere realizzata senza forzare eccessivamente l'avvitamentodei manicotti filettati al fine di evitare la deformazione delle estremità dei tubi e la conseguente difficoltà di passaggio della sonda di misura; Il tratto finestrato dovrà essere protetto con geosintetico (tessuto non tessuto di luce non superiore a 0,5 mm) e l'estremità inferiore del tubo sarà chiusa con apposito tappo di fondo;
- posa di sabbia grossa (1÷4 mm) pulita o materiale granulare pulito (ghiaietto fine 2÷4 mm)
- attorno al tubo fino a risalire di 1 m dall'estremità superiore del tratto finestrato, ritirando man mano lacolonna di rivestimento, senza l'ausilio della rotazione, con l'avvertenza di controllare che il piezometronon risalga assieme al rivestimento;
- formazione di un tappo impermeabile superiore, costituito da palline di bentonite preconfezionate (1÷2 cm) in strati di 20 cm alternate a straterelli di ghiaietto di 2÷3 cm, per lo spessore complessivo di 1 m, ritirando man mano i rivestimenti (senza l'ausilio della rotazione) e costipando i livelli di ghiaietto;
- riempimento del tratto del foro compreso tra l'estremità superiore del tappo impermeabile e il piano campagna con malta di cemento e bentonite (dosaggio a/c/b rispettivamente 100/50/10 in peso) o altro materiale idoneo;
- sistemazione e protezione del piezometro con la creazione di un pozzetto in lamiera verniciata, bencementato nel terreno, munito di coperchio con lucchetto e chiavi che verranno consegnate alla Stazione Appaltante; nel caso di installazione in luoghi aperti al traffico veicolare o pedonale (strade, piazzali, marciapiedi), e solo su specifica richiesta della

Stazione Appaltante, in luogo del chiusino standard dovrà essere installato idoneo chiusino carrabile, posto in opera a filo della pavimentazione esistente;

- verifica dell'assenza di ostruzioni o di impedimenti ed eventuale spurgo del tubo piezometrico.

Nei giorni successivi all'installazione, di norma, devono eseguirsi alcune letture (minimo n. 3) per controllare la stabilizzazione del livello piezometrico, la prima delle quali deve essere rilevata almeno un paio di ore dopo l'installazione del piezometro e le altre, successivamente, almeno una volta al giorno per tutta la durata del cantiere.

#### Misure

Per la misura manuale del livello di falda nei piezometri a tubo aperto deve essere impiegato un idoneo indicatore di livello ("freatimetro"). Tale indicatore deve essere composto da un puntale rilevatore e da un cavo metrato/centimetrato avvolto su rullo. Deve essere dotato di un avvisatore acustico/luminoso che segnali il contatto del puntale con la superficie del pelo libero dell'acqua e di un cavo metrato/centimetrato per determinare la profondità del pelo libero rispetto alla sommità del tubo di misura.

Le letture manuali con indicatore di livello devono essere eseguite secondo il seguente schema:

- infilare il sensore dell'indicatore nel tubo di misura del piezometro ed accendere la sonda;
- calare lentamente il sensore nel tubo facendo ruotare il rullo avvolgicavo ed evitando che scenda per peso proprio;
- quando l'indicatore segnala l'avvenuto contatto con l'acqua, estrarre leggermente la sonda fino alla cessazione del segnale acustico e/o luminoso;
- calare di nuovo lentamente il sensore fino al contatto e leggere la quota sul cavo;
- ripetere le operazioni almeno 3 volte, e comunque fino a che la quota possa essere definita con una precisione pari a  $\pm 5$  mm;
- annotare la quota così rilevata sul modulo di lettura.

Lo strumento di misura da cui dipende la precisione della lettura (sonda a scandaglio) deve essere tarato con le modalità esecutive di seguito riportate. La taratura ordinaria deve essere operata mensilmente sul cavo metrato per mezzo di una bindella metrica di riferimento.

Lo strumento di lettura deve essere assoggettato solo a semplici controlli prima e dopo l'esecuzione di ogni lettura giornaliera. I due controlli a priori e a posteriori devono avvenire comunque nel corso dello stesso giorno solare. Essi devono consistere nell'immersione dello strumento in acqua con verifica dell'affondamento del sensore al momento della chiusura del contatto. La sonda deve essere inserita nell'apposito tubo di misura, munito di una tacca di riferimento distante esattamente un metro dal pelo libero dell'acqua.

Tra il punto di contatto e la tacca del primo metro deve essere verificata una distanza di  $1 \text{ m} \pm 2 \text{ mm}$ . Nel caso in cui ciò non avvenga, si deve provvedere alla sostituzione della sonda e della sua eventuale nuova taratura. I controlli devono inoltre comprendere una attenta ispezione visiva dell'integrità della sonda nonché la verifica della carica delle batterie e dell'efficienza del sistema di avviso acustico e/o luminoso. Qualora si riscontrino piegature, incisioni della guaina, abrasioni e/o traslazioni di tacche di riferimento, la sonda deve essere sostituita.

Non sono ammesse giunzioni di qualsiasi tipo sul cavo.

#### Documentazione

Al completamento delle operazioni dovranno essere riportate nel documento stratigrafico del relativo sondaggio o della perforazione eseguita, per ogni piezometro installato, tutte le informazioni sulle relative misure e sul livello piezometrico rilevato, comprendenti:

- informazioni generali (profondità, quota bocca foro m slm ecc.);
- schema, tipo e posizione del piezometro installato;
- quote del tratto cieco e di quello finestrato;
- quota assoluta del bordo superiore del pozzetto di protezione;
- tabella con valori delle letture eseguite e relative date fino alla consegna.

### **Art. 10 Prova penetrometrica dinamica tipo SPT da eseguire all'interno dei fori dei sondaggi**

Questa prova consente di determinare la resistenza di un terreno alla penetrazione dinamica di un campionatore standard infisso a partire dal fondo di un foro di sondaggio.

#### Attrezzatura

Il dispositivo di battitura, di peso totale non superiore a 115 kg, deve comprendere:

- una testa di battuta di acciaio avvitata sulle aste;
- un maglio di acciaio da 63,5 ± 0,5 kg;
- un dispositivo di guida e di sganciamento automatico del maglio, che assicuri una corsa a caduta libera di 0,76 m (± 0,03 m).
- Non è ammesso il metodo del cabestano manovrato con la fune.

Secondo AGI le aste di infissione devono avere diametro esterno  $\geq 50$  mm e peso pari a  $7,00 \pm 0,5$  kg/m). In accordo con la DL si potranno utilizzare aste diverse da quelle sopra indicate che comunque, in accordo a quanto consigliato nella procedura ISSMFE, non dovranno superare tassativamente il peso di 10 kg/m.

Se la differenza tra il diametro esterno delle aste e il diametro interno della tubazione di rivestimento del foro è maggiore o uguale a 60 mm, devono essere usati appositi distanziatori (alette di irrigidimento) ad intervalli di circa 3 m lungo la colonna, per ridurre la flessione delle aste durante la battitura. I distanziatori dovranno essere impiegati anche per prove eseguite a profondità superiore di 15 m.

Le aste devono essere perfettamente dritte ed in sito devono essere controllate periodicamente. Ciascuna asta, nella sua lunghezza totale, deve presentare una flessione inferiore all'1‰. Le aste devono essere strettamente avvitate in corrispondenza dei giunti.

Tubo campionatore in acciaio indurito con superfici lisce, apribile longitudinalmente:

- Diametro esterno:  $\phi_{est} = 51 \pm 1$  mm
- Diametro interno:  $\phi_{int} = 35 \pm 1$  mm



- Lunghezza minima escluso tagliente principale:  $L_{min} \geq 457 \text{ mm}$
- Lunghezza scarpa tagliente terminale con rastremazione negli ultimi 19 mm:  $l = 76 \pm 1 \text{ mm}$

Il campionatore, nell'estremità superiore, sarà dotato di valvola a sfera e aperture di scarico a sfiato; la valvola deve essere a tenuta d'acqua nella fase di estrazione del campionatore.

La scarpa del campionatore è costituita da acciaio indurito e deve essere riparata o sostituita quando è sbeccata o distorta.

In presenza di strati di terreno con ghiaia la scarpa del campionatore Raymond potrà essere sostituita da una punta conica con diametro esterno pari a 51 mm e angolo di 60°. L'impiego della punta conica dovrà essere preventivamente autorizzata dalla DL.

#### Modalità esecutive

Le prove devono, di norma, essere effettuate entro fori di diametro compreso tra 60 e 200 mm, alle profondità stabilite dalla DL in funzione delle risultanze dei sondaggi.

Le procedure da rispettare sono le seguenti:

- estrazione lenta degli utensili di perforazione per evitare la decompressione del terreno interessato dalla prova;
- verificare che il fondo foro sia pulito e controllare con scandaglio la quota del fondo foro confrontandola con quella raggiunta con la manovra di perforazione o di pulizia precedentemente fatta. Se la quota misurata è più alta, per effetto di rifluimenti del fondo o per decantazione di detriti in sospensione nel fluido e se tale differenza supera 7 cm la prova non potrà essere eseguita e si dovrà procedere ad una ulteriore manovra di pulizia;
- il fondo foro deve essere sempre al di sotto della scarpa dei tubi di rivestimento;
- se la prova da eseguire è al di sotto del livello piezometrico, il livello del fluido nel foro dovrà essere mantenuto sempre al di sopra del livello idrostatico per assicurare l'equilibrio idraulico alla profondità della prova;
- posizionamento a fondo foro della batteria di prova, montaggio del dispositivo di prova e annotare la penetrazione iniziale dovuta al peso dell'intero sistema;
- segnare su una asta i tre tratti di 15 cm.

La distanza tra la testa di battuta e la sommità del rivestimento non deve essere superiore a m 1,50.

Il campionatore deve essere infisso, con un ritmo di battuta di circa 20-30 colpi al minuto, per 3 tratti consecutivi di 15 cm determinando il numero di colpi della massa battente necessario per la penetrazione di ciascun tratto di 15 cm.

Qualora il numero di colpi per l'affondamento della punta per il primo tratto (N1) raggiunga il numero di 50 e l'avanzamento risultasse minore a 15 cm la prova si intende conclusa; in tal caso deve essere registrata la penetrazione ottenuta con i suddetti 50 colpi.

Se il tratto di avviamento è superato con N1 minore o uguale a 50 colpi, la prova prosegue ed il campionatore viene infisso per un secondo tratto di 30 cm, contando separatamente il numero di colpi necessari per la penetrazione dei primi e dei secondi 15 cm (N2 ed N3) fino al limite di 100 colpi ( $N2+N3=100$ ). Se con  $N2 + N3 = 100$  non si raggiunge l'avanzamento di 30 cm, l'infissione viene sospesa (rifiuto), la prova è considerata conclusa e viene annotata la relativa penetrazione.

L'eventuale affondamento del campionatore per peso proprio, delle aste e della testa di battuta deve essere annotato ma deve essere considerato già parte integrante dei 15 cm di infissione preliminare del campionatore.

Durante l'estrazione della batteria il fluido di circolazione deve essere mantenuto costante alla quota del piano di lavoro.

Il materiale contenuto nel campionatore, dopo l'esecuzione della prova, deve essere misurato, descritto ed inserito (tralasciando la parte alta del campione) in un involucro di plastica con l'indicazione della quota di esecuzione della prova stessa.

#### Documenti da consegnare

Al termine dell'indagine dovrà essere consegnata la seguente documentazione:

1. per ciascuna prova eseguita:
  - quota della tubazione provvisoria di rivestimento del foro, riferita al piano di campagna;
  - quota raggiunta con la manovra di perforazione o pulizia, riferita al piano di campagna;
  - quota del fondo foro controllata con scandaglio prima di iniziare la prova (= quota inizio prova), riferita al piano di campagna;
  - affondamento per peso proprio delle aste e della testa del campionatore;
  - numero di colpi per infissione di ciascuno dei tre tratti di 15 cm, oppure penetrazione misurata dopo raggiunto il limite dei colpi;
  - peso per metro lineare delle aste impiegate;
  - lunghezza e descrizione litologica del campione estratto;
  - tipo di campionatore impiegato.
2. b) per ciascuna verticale indagata:
  - il grafico Nspt in funzione della profondità;
  - eventuali annotazioni dell'operatore e data di esecuzione

#### Riferimenti normativi

- ASTM - D1586-99 (2001). Standard Test Method for Penetration Test and Split-Barrel Sampling of Soil.
- Associazione Geotecnica Italiana (1977). Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione dell'indagine geotecniche.
- ISSMFE Technical Committee (1988). Standard Penetration Test (SPT: International Reference Test Procedure;
- UNI EN ISO 22476-3 (2012). Indagini e prove geotecniche - Prove in sito -Parte 3: Prova penetrometrica dinamica tipo SPT (Standard Penetration Test);
- UNI ENV 1997-1 (2005) – Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali;

- UNI ENV 1997-2 (2007) – Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica - Parte 2: Indagini e prove nelsottosuolo.

### **Art. 11 Prova penetrometrica statica eseguita con dispositivo a punta meccanica (CPT)**

La prova consiste nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta conica di dimensioni e caratteristiche standard, infissa a velocità costante (pari a 2 cm/sec  $\pm$  0.5 cm/sec) nel terreno tramite un dispositivo di spinta che agisce alternativamente su una batteria di aste esterna e su una interna, alla cui estremità inferiore è connessa la punta.

#### Attrezzatura

Le attrezzature richieste sono le seguenti:

- dispositivo di spinta;
- punta penetrometrica;
- aste;
- dispositivo di misura.

Il dispositivo di spinta deve essere usato un martinetto a comando idraulico in grado di esercitare la spinta richiesta (10 o 20 ton) sulla duplice batteria di aste. La corsa deve essere pari a 1 m. La velocità di infissione della batteria di aste sarà di 2 cm/s ( $\pm$  0,5 cm/s), costante nel corso della prova, indipendentemente dalla resistenza offerta dal terreno. Il dispositivo di spinta deve essere ancorato e/o zavorrato in modo tale che non si muova, rispetto al piano di campagna, durante l'azione di spinta.

La punta conica telescopica può essere, entro certi limiti, infissa indipendentemente dalla batteria di aste esterne cave, con le seguenti dimensioni:

- diametro di base del cono  $d_c$ : 35,7  $\pm$  0,4 mm
- angolo di apertura del cono: 60°  $\pm$  5°
- area della base del cono: 1000 mm<sup>2</sup>
- raggio della punta del cono: < 3 mm

La punta permetterà la misura di:

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

La resistenza per attrito laterale viene rilevata per mezzo di un manicotto d'attrito con le seguenti caratteristiche:

- superficie laterale del manicotto: 150 cm<sup>2</sup>  $\pm$  2%
- diametro esterno manicotto  $d_s$ :  $d_c \leq d_s \leq d_c + 0,5$  mm ( $d_c$  = diametro della base del cono)

Devono essere utilizzate aste di tipo cavo con diametro esterno di 36 mm. Le astine interne devono essere a sezione piena di diametro inferiore di 0,5  $\pm$  1 mm rispetto a quello interno delle aste cave. Eventuali anelli allargatori devono essere posizionati ad almeno 100 cm dalla base del cono.

Dovrà essere costituito da un manometro con fondo scala massimo pari a 10 MPa ed un altro con fondo scala superiore, collegati in modo tale che il primo sia escluso automaticamente dal circuito oleodinamico in caso di pressioni troppo elevate. La precisione di lettura deve essere contenuta entro i seguenti limiti massimi:

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

#### Taratura e controlli

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

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

Deve essere controllata periodicamente durante la prova la rettilineità delle aste di spinta, soprattutto per le 5 aste inferiori della batteria.

Periodicamente si deve controllare lo stato di usura della punta del cono, del manicotto di attrito e della prolunga della punta penetrometrica.

I manometri del dispositivo di misura dovranno essere corredati da un certificato di taratura rilasciato da un Ente o Società autorizzata, non anteriore a tre mesi dall'inizio della prova.

#### Modalità esecutive

Il penetrometro dovrà essere posizionato opportunamente in modo da garantire la verticalità della applicazione del carico. La prova si eseguirà facendo avanzare le astine interne fino ad esaurire l'intera corsa della punta (4 cm) e della punta + manicotto (4 cm), misurando la pressione di spinta nel primo e nel secondo caso; si faranno quindi avanzare le aste cave fino alla chiusura della batteria telescopica (12 cm), misurando ed annotando la pressione totale di spinta.

Le misure di qc ed fs saranno discontinue, con annotazioni ogni 20 cm di penetrazione.

La prova sarà quindi eseguita fino al raggiungimento dei limiti strumentali di resistenza (rifiuto) o fino alla profondità massima prevista dal programma delle indagini. Copia delle letture eseguite direttamente a manometri od al visore, alle varie profondità, devono essere consegnate giornalmente alla DL.

#### Documenti da consegnare

La documentazione di prova comprenderà:

- Relazione conclusiva contenente la descrizione di tutte le operazioni eseguite e dei risultati ottenuti;
- Planimetria in scala non inferiore a 1:5000 recante l'ubicazione precisa di tutte le prove effettuate;
- Elaborati grafici e tabellari riportanti per ciascuna prova:
  - informazioni generali (località, progr. km, data di esecuzione, nominativo dell'operatore ecc.);
  - numero/sigla della prova;
  - caratteristiche dell'attrezzatura;

- caratteristiche della punta;
- fotocopia delle tabelle di cantiere, con indicazione dei fattori moltiplicativi di interpretazione delle
- letture.
- certificati di taratura delle punte impiegate non anteriori a tre mesi da quella dell'assunzione della
- prova;
- quota assoluta del punto di prova;
- profondità della falda;
- grafici della resistenza della punta  $q_c$ , dell'attrito laterale locale  $f_s$  e del rapporto  $f_s/q_c$  calcolato fra
- valori misurati alla medesima profondità;
- grafico dell'inclinazione delle aste in funzione della profondità;
- posizione di eventuali anelli allargatori;
- note ed osservazioni.

#### Riferimenti normativi

- ASTM D3441-98. Standard Test Method for Mechanical Cone Penetration Tests of Soil.
- Associazione Geotecnica Italiana (1977). Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche.
- UNI ENV 1997-1 (2005) – Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali
- UNI ENV 1997-2 (2007) – Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica - Parte 2: Indagini e prove nel
- sottosuolo
- UNI EN ISO 22476-12 (2009) - Indagini e prove geotecniche - Prove in sito - Parte 12: Prova meccanica di penetrazione del cono (CPTM).

### **Art. 12 Prove di carico su piastra**

La prova consiste nel sovraccaricare con incrementi successivi e regolari una piastra rigida, circolare, poggiata sulla superficie del terreno misurando il cedimento corrispondente ad ogni gradino di carico.

#### Attrezzature

- piastra circolare in acciaio, rigida, caratterizzata da: diametro =  $300 \pm 1$  mm, spessore  $\geq 20$  mm;
- martinetto di carico (idraulico o meccanico) di portata pari ad almeno 50 kN;
- dinamometro (meccanico o idraulico) di portata pari ad almeno 50 kN e sensibilità pari a 0,5 kN;
- scatola cilindrica metallica dotata al suo interno di una superficie piana di appoggio della punta del comparatore;
- cerniera sferica per il centramento del carico;

- prolunga costituita da più aste cilindriche avvitate tra loro;
- comparatori per la lettura dei cedimenti con sensibilità di 0,01 mm e capacità di lettura di almeno 10 mm;
- braccio/i snodabile/i porta comparatore/i con dispositivo a vite micrometrica per l'azzeramento del comparatore;
- trave rigida di sostegno dei bracci porta-comparatori, di lunghezza pari a 2,5 m e con supporti alle estremità per l'appoggio al terreno;
- struttura fissa di contrasto il cui peso sia maggiore di 2 volte la forza massima totale da applicare sulla piastra, secondo il programma di prova;
- contasecondi, filo a piombo, livella a bolla, termometro con sensibilità di 1°C.

#### Preparazione del terreno

La piastra sarà poggiata su terreno con contenuto d'acqua naturale, non disturbato in forma alcuna, ripulito a mano da qualsiasi detrito, copertura o ciottolo sporgente.

Il terreno sarà, se necessario, regolarizzato con un sottile spessore di sabbia o altro materiale incoerente (tutto passante al setaccio da 2 mm), per ottenere una superficie piana e orizzontale.

La orizzontalità della piastra, una volta posta sul piano di prova, sarà verificata con livella a bolla.

Se la prova deve essere eseguita su una superficie già ricoperta da altro strato, sarà necessario praticare uno scavo le cui pareti siano ad una distanza minima di 30 cm dal bordo della piastra.

In ogni caso gli ultimi 15-20 cm dello scavo eventualmente previsto devono essere eseguiti manualmente avendo cura di non calpestare l'area in cui deve essere eseguita la prova.

#### Assemblaggio

Per l'esecuzione della prova è necessario utilizzare un contrasto fisso che fornisca un carico pari ad almeno il doppio di quello massimo da esercitare sulla piastra.

L'attrezzatura può essere montata secondo due diversi schemi in funzione della disposizione dei singoli elementi al di sopra della scatola cilindrica posta subito a contatto della piastra:

1. piastra > scatola cilindrica > martinetto > dinamometro > asta di prolunga;
2. piastra > scatola cilindrica > asta di prolunga > dinamometro > martinetto.

Nel primo caso la struttura di contrasto sarà a contatto con l'asta di prolunga, mentre nel secondo caso il contrasto poggerà direttamente sul martinetto.

La prova può essere eseguita secondo due diverse modalità in funzione del numero di comparatori utilizzati per il rilievo dei cedimenti.

1. con un n. 1 comparatore.

Bloccata la cerniera sferica, si applica sopra la piastra la scatola cilindrica sistemando al suo interno il comparatore con la punta appoggiata sull'apposita sede nella parte inferiore. Il braccio porta comparatore viene fissato alla trave di sostegno i cui appoggi devono essere ubicati a distanza di almeno 1 m per la piastra e di 0,50 m per le ruote della struttura di contrasto.

2. con n. 3 comparatori

Rispetto alla procedura precedente la scatola cilindrica, se utilizzata, ha funzione unicamente di irrigidimento della piastra. La cerniera sferica deve essere posizionata tra la struttura di contrasto e la prolunga. I tre comparatori, per mezzo di appositi bracci, devono essere disposti a 120° sul perimetro della piastra, a circa 5 mm dal bordo.

Modalità esecutive

Assemblata l'attrezzatura, si eseguirà la prova previa l'applicazione di un carico di assestamento di almeno 0,02 MPa comprendente il peso dell'apparecchiatura gravante sulla superficie di prova. Esauriti i cedimenti, si azzerano/no il/i comparatore/i e si porta il carico a 0,05 MPa effettuando la prima lettura e applicando successivi incrementi di carico non appena il cedimento, corrispondente ad un determinato carico, risulti inferiore a 0,02 mm/minuto. Nel caso in cui il cedimento sia maggiore di 0,02 mm/minuto si dovrà mantenere lo stesso carico per un ulteriore intervallo di tempo e rileggere i valori/e ai/i comparatori/e fino al raggiungimento della condizione precedentemente citata. Nel caso di impiego di tre comparatori deve essere presa in considerazione la media delle tre letture effettuata per ciascun livello di carico. Con il primo ciclo della prova di carico si determina il modulo Md (indicativo della portanza) mentre con il secondo ciclo si determina il modulo M'd necessario per definire il grado di costipamento dello strato in esame.

1. Primo ciclo

Si dovrà seguire il seguente schema operativo: incrementi di carico di 0,05 MPa fino ad una pressione massima di 0,2 MPa;  
 Raggiunta la pressione massima si esegue lo scarico:

- completo se occorre determinare solo il modulo Md;
- fino alla pressione di 0,05 MPa se occorre determinare anche il modulo M'd e quindi eseguire il secondo ciclo di carico dopo avere rilevato il cedimento residuo.

2. Secondo ciclo

Si dovrà seguire il seguente schema operativo: incrementi di carico di 0,05 MPa fino alla pressione massima di 0,15 MPa;

Al termine della prova deve essere prelevato un campione rimaneggiato di terreno in prossimità del punto di prova allo scopo di determinarne le caratteristiche fisiche con particolare riferimento all'umidità.

In corrispondenza del punto di prova dovrà essere verificata la natura del terreno per uno spessore di 50 cm al fine di controllare l'eventuale presenza di ciottoli o blocchi di dimensioni > 10 cm al di sotto della piastra di prova. In caso positivo la prova dovrà essere ripetuta in un altro posto.

I moduli di deformazione Md e M'd dovranno essere calcolati nei seguenti intervalli di carico: 0,05 e 0,15 MPa.

Il modulo di deformazione Md (M'd) (MPa) deve essere calcolato nell'intervallo di pressione da considerare in accordo alla formula:

$$M_d(M'_d) = \frac{\Delta p}{\Delta s} \cdot D$$

dove:

$\Delta p$  = incremento di carico unitario (MPa);

$\Delta s$  = cedimento corrispondente all'incremento di carico (mm);

D = diametro della piastra (mm).

A richiesta della DL la prova potrà essere eseguita con le stesse modalità sopra descritte con una piastra con diametro da 60 cm.

#### Documenti da consegnare

La documentazione da fornire comprenderà, per ciascuna prova:

- informazioni generali (cantiere, n° prova, profondità, diametro piastra, data);
- planimetria, in scala idonea, con ubicazione della prova;
- tabelle con letture di cantiere del/i comparatore/i, per ciascun gradino di carico;
- diagramma carichi-cedimenti;
- calcolo dei moduli di deformazione Md e M'd
- certificato di taratura del dinamometro di misura non anteriore di 3 mesi la data di inizio prove

#### Riferimenti normativi

- CNR-BU n. 146-1992. Determinazione dei moduli di deformazione Md e M'd mediante prova di carico a doppio ciclo con piastra circolare

### **Art. 13 Prova sismica a rifrazione**

Il metodo di prospezione sismica a rifrazione misura la velocità di propagazione delle onde sismiche nel mezzo investigato mediante allineamenti isolati o consecutivi di geofoni e registrazioni multiple delle onde di compressione e di taglio per ciascun stendimento.

L'Esecutore dovrà provvedere alla fornitura delle attrezzature necessarie, del personale tecnico specializzato (laureato e diplomato) e della manovalanza. Dovrà provvedere alla redazione di una relazione generale sulle indagini geofisiche effettuate, con allegati i diagrammi delle singole indagini, i risultati interpretativi e tutti gli elementi tecnico/scientifici necessari. Inoltre, dovrà essere obbligatoriamente eseguito un rilievo topografico plano-altimetrico georeferenziato di tutti gli stendimenti eseguiti e di tutti i rilievi eseguiti, completo delle relative planimetrie a curve di livello in scala opportuna e perfettamente leggibile.

Le prospezioni sismiche dovranno essere effettuate con l'impiego di strumenti, con un minimo di 12 canali a seconda delle indicazioni della Direzione dei Lavori, nei quali siano state adottate le più moderne tecnologie elettroniche, che consentono la visualizzazione dei segnali su un monitor, la registrazione, a mezzo di stampante grafica, delle onde sismiche dirette, rifratte o riflesse e la misurazione degli intervalli di tempo necessari alle onde stesse per l'arrivo dal punto di impatto ai geofoni. Per l'energizzazione l'Impresa dovrà impiegare preferibilmente masse battenti di peso opportuno. In tal caso, potranno essere impiegate sia onde P che onde Sv, Sh, secondo quanto stabilito nell'Elenco Prezzi e nel Computo Metrico Estimativo e nel numero minimo di cinque energizzazioni per ogni base sismica. Qualora condizioni geologiche locali consigliassero l'uso di



piccole cariche esplosive, l'Esecutore dovrà provvedere, a sua cura e spese, alla richiesta dei permessi, al trasporto ed alla conservazione delle cariche stesse, nel pieno rispetto delle disposizioni di legge esistenti in materia di pubblica incolumità, restando lo stesso Esecutore unico responsabile nel caso di inottemperanza o di danni causati da mancata applicazione delle norme di prevenzione.

La lunghezza degli stendimenti e l'interasse fra i geofoni dovrà essere tarata dall'Impresa esecutrice in modo da restituire risultati a elevato livello di attendibilità alle profondità di interesse per le opere in progetto: in tal senso, la definizione di dettaglio della configurazione degli stendimenti dovrà essere comunicata alla DL e ai Progettisti per approvazione, prima dell'inizio delle attività.

I risultati delle indagini del tipo "sismica a rifrazione", con basi e stendimenti secondo le indicazioni e le specifiche di progetto delle stesse, dovranno essere restituiti a ENAS completi della stampa di tutti i sismogrammi e relativo "picking of first times", delle condizioni di registrazione (guadagno del segnale, sommatoria dello stesso, applicazione di filtri ecc.). L'interpretazione dei dati dovrà essere obbligatoriamente effettuata mediante il Delay Time Method ed il GRM o metodo di Palmer dei quali farà parte integrante l'elaborazione grafica finale, stampata o plottata in formati idonei e comunque sempre secondo le indicazioni della Direzione dei Lavori.

#### Attrezzature

L'attrezzatura per l'acquisizione dei dati dovrà avere le seguenti caratteristiche minime:

- sismografo con un minimo di n. 24 canali, di tipo digitale incrementale, dotato di capacità di campionamento di 0,05 - 0,1 - 0,2 - 0,5 msec, mille o più punti di campionamento per traccia sismica; il sismografo dovrà, inoltre, presentare la possibilità di stack degli impulsi sismici, filtri analogici e digitali programmabili (filtri attivi tipo high pass, band pass e band reject), guadagno verticale del segnale (in ampiezza) e sensibilità tra 6 e 99 decibel, registrazione dei dati in digitale per elaborazioni successive con formato in uscita non inferiore a 16 bit
- geofoni verticali con frequenza propria variabile tra 8-100 Hz per il rilievo delle onde di compressione;
- geofoni orizzontali con frequenza propria variabile tra 6-14 Hz per il rilievo delle onde di taglio;
- sistema di comunicazione e di trasmissione del "tempo zero" (time-break).
- sistema di energizzazione necessario a generare le onde sismiche.

#### Modalità esecutive

Il rilievo sismico dovrà essere eseguito lungo profili rettilinei con geofoni posti ad interdistanza fissa in relazione alla profondità di indagine e al dettaglio di rilievo richiesto dal progetto.

In linea generale per ogni stendimento la profondità massima raggiunta dalla prospezione sismica è funzione sia delle velocità sismiche dei singoli strati sia della lunghezza dei tiri sismici.

Indicativamente la profondità massima indagata è circa  $1/4 \div 1/5$  della lunghezza dei tiri sismici e per ottenere dei risultati ottimali occorre mantenere l'obiettivo della ricerca entro i  $2/3$  della profondità massima.

La spaziatura delle stazioni geofoniche è funzione del dettaglio che si vuole ottenere, in particolare nella sismica tomografica.

Per la sismica con acquisizione tomografica, indicativamente la spaziatura può variare tra 1/4 e 1/5 della profondità dell'obiettivo secondo lo schema di massima seguente: obiettivo a x m: spaziatura=  $x/4(5)$

Per ciascun stendimento costituito da un numero minimo di 24 geofoni, i tiri dovranno essere eseguiti mediamente ogni 2÷3 geofoni oltre a quattro tiri esterni allo stendimento per un totale minimo di dodici (12) tiri.

I tiri estremi dovranno essere ubicati ad una distanza dal primo e dall'ultimo geofono pari alla metà della distanza intergeofonica utilizzata.

I tiri esterni, invece, saranno posizionati, compatibilmente con le condizioni logistico-morfologiche, ad una distanza pari alla semilunghezza dello stendimento sismica.

Eventuali diverse geometrie dei tiri devono essere preventivamente approvate dalla DL.

L'elaborazione dei dati, attraverso l'esame dei valori registrati in corrispondenza di ciascuna stazione geofonica, dovrà consentire la definizione dei singoli rifrattori o strati sismici individuati in termini sia di spessore che di velocità delle onde sismiche (longitudinali e/o trasversali)

#### Documenti da consegnare

- Relazione conclusiva in cui siano dettagliatamente descritte le operazioni eseguite, i criteri di calcolo e di interpretazione adottati, nonché una sintesi dei risultati ottenuti;
- Cartografia in scala 1:5000 (o 1:2000) con l'esatta ubicazione degli stendimenti effettuati;
- Libretti di campagna dei rilievi topografici, se effettuati, e sismogrammi in originale rilegati in fascicolo con le necessarie indicazioni per la loro esatta individuazione sulla cartografia;
- Diagrammi "Distanze/Tempi Rifratti" (Dromocrone), rappresentati con la stessa sequenza e continuità degli stendimenti effettuati, corredati degli eventuali passaggi intermedi dell'elaborazione;
- Sezioni Sismostratigrafiche in termini di velocità delle onde e del fattore qualità se richiesto, alla scala che verrà stabilita dalla DL, che dovrà risultare adeguata a rappresentare tutti i dettagli emersi dall'elaborazione. Dette sezioni dovranno riportare tutte le indicazioni parametriche dei singoli rifrattori individuati e, in proiezione, la posizione di eventuali sondaggi meccanici e/o misure geofisiche in foro eseguiti per taratura e/o controllo;
- Sezioni Tomografiche con elaborazione a celle di velocità o isolinee, in termini di velocità delle onde sismiche, alla scala che verrà stabilita dalla DL.

#### Riferimenti normativi:

- ASTM D 5777-00. Standard guide for using the seismic refraction method for subsurface investigation.

## 2. PROVE DI LABORATORIO

### Art. 14 Prove sui calcestruzzi e/o sulla muratura dei corpi diga

Per l'esecuzione delle prove di laboratorio sui calcestruzzi e/o sulla muratura dei corpi diga si dovrà fare riferimento alle seguenti raccomandazioni/normative:

- Preparazione dei provini:
  - ASTM D4543-01. Standard Practices for Preparing Rock Core Specimens and Determining Dimensional and Shape Tolerances
- Determinazione della massa volumica (apparente e reale) e della porosità:
  - ISRM - Committee on laboratory tests - Suggested Methods for Determining Water Content, Porosity, Density, Absorption and Related Properties and Swelling and Slake-Durability Index Properties (1977) - Part 1 - Test 2 - Suggested method for porosity/density determination using saturation and caliper techniques
- Prove di resistenza a compressione monoassiale:
  - UNI EN12390-3
- Determinazione del modulo elastico:
  - UNI-EN 12390-13
- Prove di resistenza a trazione indiretta (prova "brasiliana"):
  - UNI EN12390-6
- Determinazione della velocità di propagazione delle onde elastiche di compressione e di taglio nel campione.
  - ASTM D-2845 Standard Test Method for Laboratory Determination of Pulse Velocities and Ultrasonic Elastic Constants of Rock
  - ISRM Suggested Method for Determining Sound Velocity by Ultrasonic Pulse Transmission Technique. Upgraded

### Art. 15 Prove su materiale roccioso

Per l'esecuzione delle prove di laboratorio su materiale roccioso si dovrà fare riferimento alle seguenti raccomandazioni/normative:

- Preparazione dei provini:
  - ASTM D4543-01. Standard Practices for Preparing Rock Core Specimens and Determining Dimensional and Shape Tolerances
- Analisi petrografica sommaria:
  - UNI EN 923-3
- Analisi petrografica mediante sezione sottile:
  - UNI EN 12407
  - ISRM (1977) - Suggested Methods for Petrographic Description of Rocks

- Determinazione della massa volumica (apparente e reale) e della porosità:
  - ISRM - Committee on laboratory tests - Suggested Methods for Determining Water Content, Porosity, Density, Absorption and Related Properties and Swelling and Slake-Durability Index Properties (1977) - Part 1 - Test 2 - Suggested method for porosity/density determination using saturation and caliper techniques
- Prove di resistenza a compressione monoassiale e determinazione del modulo elastico della roccia intatta:
  - ISRM (1979). Suggested methods for determining the uniaxial compressive strength and deformability of rock materials
  - ASTM D2938-95. Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Intact Rock Core Specimens.
  - UNI EN 1926.
- Prove di resistenza a compressione triassiale:
  - ASTM D2664-95a. Standard Test Method for Triaxial Compressive Strength of Undrained Rock Core Specimens Without Pore Pressure Measurements.
  - ASTM D5407-95 (2000). Standard Test Method for Elastic Moduli of Undrained Intact Rock Core Specimens in Triaxial Compression without Pore Pressure Measurement.
  - ISRM (1978). Suggested Methods for Determining the Strength of Rock Materials in Triaxial Compression.
  - ISRM (1983). Suggested Methods for Determining the Strength of Rock Materials in Triaxial Compression: revised version.
- Prove di resistenza a trazione indiretta (prova "brasiliana"):
  - ISRM (1978). Suggested Method for Determining Indirect Tensile Strength by Brazil Test.
- Prove di taglio su giunto:
  - ISRM Suggested Method for Laboratory Determination of the Shear Strength of Rock Joints: Revised Version.
- Determinazione della velocità di propagazione delle onde elastiche di compressione e di taglio nel campione:
  - ASTM D-2845 Standard Test Method for Laboratory Determination of Pulse Velocities and Ultrasonic Elastic Constants of Rock
  - ISRM Suggested Method for Determining Sound Velocity by Ultrasonic Pulse Transmission Technique. Upgraded

## Art. 16 Prove sulle terre

Per l'esecuzione delle prove di laboratorio sulle terre di dovrà fare riferimento alle seguenti raccomandazioni/normative:

- Apertura e descrizione geotecnica dei campioni

- A.G.I. Associazione Geotecnica Italiana (1997). Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche;
- UNI-EN-ISO 14688-1 (2018). Indagini e prove geotecniche - Identificazione e classificazione dei terreni - Parte 1: Identificazione e descrizione;
- UNI-EN-ISO 14688-2 (2018). Indagini e prove geotecniche - Identificazione e classificazione dei terreni - Parte 2: Principi per una classificazione;
- ASTM D2487-00. Standard Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System);
- ASTM D2488-00. Standard Practice for Description and Identification of Soils (Visual-Manual Procedure).
- BS 1377-1990. Methods of test for soils for civil engineering purposes;
- ASTM D653-02. Standard terminology relating to soil, rock, and contained fluids,
- ASTM D3282-93 (1997). Standard Practice for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes.
- ASTM D2488-93 (Standard Practice for Description and Identification of Soils - Visual-Manual Procedure
- Determinazione del peso dell'unità di volume naturale e secco, contenuto d'acqua naturale
  - ASTM D 2216 – 92 – Standard Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock
  - ASTM D 854 – 92 – Standard Test Method for Specific Gravity of Soils.
  - UNI EN ISO 1097-5 (2008). Prove per determinare le proprietà meccaniche e fisiche degli aggregati - Parte 5: Determinazione del contenuto d'acqua per essiccazione in forno ventilato
  - UNI CEN ISO/TS 17892-1 (2015). Indagini e prove geotecniche - Prove di laboratorio sui terreni -Parte 1: Determinazione del contenuto in acqua
  - UNI CEN ISO/TS 17892-2 (2015). Indagini e prove geotecniche - Prove di laboratorio sui terreni -Parte 2: Determinazione della massa volumica dei terreni a grana fine
  - BS 1377 (1990) – Methods of test for soils for civil engineering purposes – Part 2: Classification tests.
- Analisi granulometrica per setacciatura e per sedimentazione (in funzione del contenuto di fini)
  - Associazione Geotecnica Italiana (1994). Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio
  - UNI CEN ISO/TS 17892-4 (2017). Indagini e prove geotecniche - Prove di laboratorio sui terreni - Parte 4: Determinazione della distribuzione granulometrica
  - UNI EN 933-1 (2012). Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati. Determinazione della distribuzione granulometrica. Analisi granulometrica per stacciatura.
  - ASTM D422-63 (1998). Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils.

- ASTM D421-85 (1998). Standard Practice for Dry Preparation of Soil Samples for Particle-Size Analysis and Determination of Soil Constants.
- ASTM D2217-85 (1998). Standard Practice for Wet Preparation of Soil Samples for Particle-Size Analysis and Determination of Soils Constants.
- BS 1377-1990. Methods of test for soils for civil engineering purposes. Part 2: Classification tests. 9.2 "Wet sieving method"
- BS 1377-1990. Methods of test for soils for civil engineering purposes. Part 2: Classification tests. Subclause 9.5 "Sedimentation by the hydrometer method"
- UNI EN 933-2 (1997). Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati.
- Determinazione dei limiti di Atterberg
  - ASTM D4318-00. Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils
  - BS 1377-1990. Methods of test for soils for civil engineering purposes. Part 2: Classification tests. Clause 4 "Determination of the liquid limit".
  - BS 1377-1990. Methods of test for soils for civil engineering purposes. Part 2: Classification tests. Clause 5 "Determination of the plastic limit and plasticity index".
  - UNI CEN ISO/TS 17892-12 (2005). Indagini e prove geotecniche - Prove di laboratorio sui terreni - Parte 12: Determinazione dei limiti di Atterberg.
  - ASTM D427-98. Test Method for Shrinkage Factors of Soils by the Mercury Method.
  - ASTM D4943-02. Standard Test Method for Shrinkage Factors of Soils by the Wax Method
- Prova di taglio diretto
  - Associazione Geotecnica Italiana (1994). Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio
  - ASTM D3080-98. Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions.
  - BS 1377-1990. Methods of test for soils for civil engineering purposes.
  - UNI CEN ISO/TS 17892-10 (2005). Indagini e prove geotecniche - Prove di laboratorio sui terreni - Parte 10: Prove di taglio diretto.
  - ASTM D6467-99. Standard Test Method for Torsional Ring Shear Test to Determine Drained Residual Shear Strength of Cohesive Soils
  - UNI CEN ISO/TS 17892-10 (2005). Indagini e prove geotecniche - Prove di laboratorio sui terreni - Parte 10: Prove di taglio diretto.
- Prova edometrica
  - Associazione Geotecnica Italiana (1994). Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio
  - BS 1377-1990. Methods of test for soils for civil engineering purposes. Part 5: Compressibility, permeability and durability tests.

- ASTM D2435-96. Standard Test Method for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils.
- UNI CEN ISO/TS 17892-5 (2017). Indagini e prove geotecniche - Prove di laboratorio sui terreni - Parte 5. Prova edometrica ad incrementi di carico.
- Prova triassiale non consolidata non drenata (TxUU)
  - Associazione Geotecnica Italiana (1994). Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio
  - ASTM D 2850 – 95 – Standard Test Method for Unconsolidated, Undrained Compressive Strength of Cohesive Soils in Triaxial Compression
- Prova triassiale consolidata non drenata (TxCU)
  - Associazione Geotecnica Italiana (1994). Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio
  - ASTM D4767-95. Standard Test Method for Consolidated Undrained Triaxial Compression Test for Cohesive Soils.

La presente copia e' conforme all'originale depositato presso gli archivi dell'Azienda

05-B7-8A-95-AF-3C-78-3B-5F-C7-58-95-67-CE-E6-9B-8F-AC-40-0C

PAdES 1 di 2 del 16/04/2025 15:33:16

Soggetto: Stefania Todde

S.N. Certificato: 1FA4A2A5

Validità certificato dal 05/12/2022 08:54:40 al 05/12/2025 08:54:40

Rilasciato da ArubaPEC S.p.A.

-----  
PAdES 2 di 2 del 18/04/2025 09:48:24

Soggetto: Roberto Meloni

S.N. Certificato: D33C43A4

Validità certificato dal 13/12/2024 13:02:27 al 13/12/2027 13:02:27

Rilasciato da ArubaPEC S.p.A.  
-----