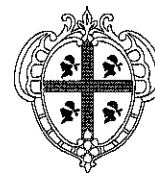




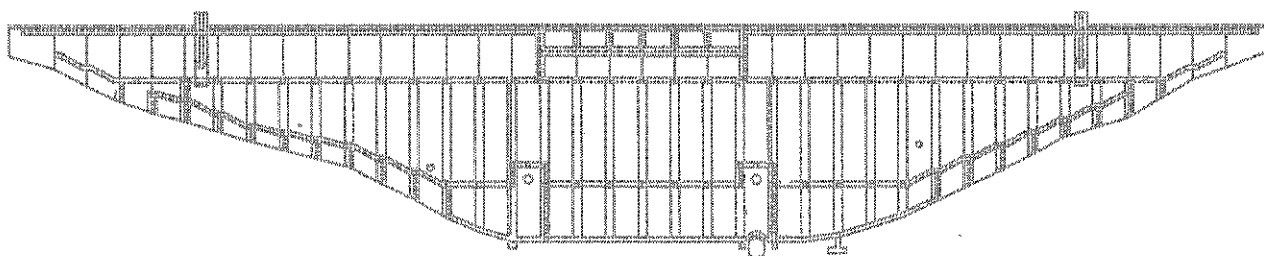
Approvato con det. D. 501/LL.PP.
Prot. 38520 rep. 1633 del 06/10/2017

REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA
Ente acque della Sardegna



R.1.4 - Diga sul fiume Tirso a Cantoniera: Indagini sulla roccia di fondazione e sullo stato di conservazione delle barre in fondazione, progetto degli interventi di miglioramento condizioni sicurezza diga con integrazione delle strutture di sottofondazione e completamento schermo drenante in fondazione

INDAGINI GEOTECNICHE E VERIFICA CONSERVAZIONE BARRE DI FONDAZIONE



PROGETTO DEFINITIVO ED ESECUTIVO

CAPITOLATO SPECIALE D'APPALTO

Allegato

A2.2

Redatto dal Servizio Dighe

Progettisti

Ing. Michele Cottu
Ing. Francesco Caturano

**Coordinatore della Sicurezza
in fase di progettazione**

Ing. Piergiorgio Cadeddu

Responsabile scientifico
Prof. Ing. Alessandro Graziani

Collaborazione Tecnica
P.I. Giorgio Zara

Il Responsabile Unico del Procedimento
Ing. Francesca Piras

Il Direttore Generale
Ing. Franco Ollargiu

Il Direttore del Servizio Dighe
Ing. Antonio Loché

Giugno 2017

INDICE

Art.1 - PRESCRIZIONI TECNICHE	2
Art. 1.1 - Specifiche tecniche per l'esecuzione di indagini geognostiche	2
Art. 1.2 - Metodo di esecuzione dei sondaggi geotecnici.....	2
Art. 1.3 - Prova di resistenza a carico puntuale (point load strength test).....	5
Art. 1.4 - Rilievo stratigrafico.....	8
Art. 1.5 - Campionamenti durante i sondaggi geotecnici	20
Art. 1.6 - Prova di permeabilità tipo LUGEON	24
Art. 1.7 - Tomografie soniche	27
Art. 1.8 - Rilievi televisivi BHTV.....	28
Art. 1.9 - Prova preliminare di estrazione (pull-out) sulle barre di prova	28
Art. 1.10 - Documentazione da produrre.....	28
Art.2 - PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO.....	29
Art. 2.1 - Generalità	29
Art. 2.2 - Trasporto apertura e descrizione dei campioni in roccia.....	32
Art. 2.3 - Trasporto apertura e descrizione dei campioni di calcestruzzo.....	32
Art. 2.4 - Determinazione delle caratteristiche fisiche dei campioni di roccia.33	
Art. 2.4.1 Determinazione del contenuto naturale d'acqua	33
Art. 2.4.2 Determinazione della massa volumica apparente (peso di volume naturale) su provini di forma regolare.....	33
Art. 2.4.3 Determinazione della massa volumica apparente (peso di volume naturale) su provini di forma irregolare di rocce non sensibili all'immersione in acqua	34
Art. 2.4.4 Determinazione della massa volumica apparente (peso di volume naturale) su provini di forma irregolare di rocce sensibili all'immersione in acqua	34
Art. 2.4.5 Determinazione della porosità su provini di forma regolare di rocce non sensibili all'immersione in acqua	35
Art. 2.4.6 Determinazione della porosità su provini di forma irregolare di rocce non sensibili all'immersione in acqua	35
Art. 2.4.7 Determinazione della porosità su provini di forma irregolare di rocce sensibili all'immersione in acqua	36
Art. 2.4.8 Determinazione della massa volumica reale (peso specifico dei grani)	37
Art. 2.5 - Misura della velocità delle onde P e S.....	37

Art. 2.6 - Prova di compressione monoassiale con rilievo del solo carico di rottura su campioni di roccia	39
Art. 2.7 - Prove di compressione monoassiale con rilievo delle deformazioni assiali e diametrali e calcolo delle costanti elastiche su campioni di roccia	40
Art. 2.8 - Prova di compressione triassiale in controllo di deformazione con rilievo delle deformazioni assiali e diametrali anche nella fase post-rottura su campioni di roccia	41
Art. 2.9 - Prova di trazione indiretta (brasiliana) su campioni di roccia	43
Art. 2.10 - Determinazione delle caratteristiche fisiche dei campioni di calcestruzzo	44
Art. 2.10.1 Determinazione della massa volumica del calcestruzzo indurito	44
Art. 2.11 - Prova di compressione monoassiale con rilievo del solo carico di rottura su campioni di calcestruzzo	44
Art. 2.12 - Prova di trazione indiretta (Brasiliana) su campioni di calcestruzzo	45

Art.1 - PRESCRIZIONI TECNICHE**Art. 1.1 - 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.

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. 1.2 - Metodo di esecuzione dei sondaggi geotecnici

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 il riprofilamento dei materiali attraversati nel luogo diverso da quello stabilito; ciò senza che l'impresa possa vantare alcun ulteriore compenso.

Il foro di sondaggio, una volta ultimato, verrà riempito con miscele cementizie se esplicitamente richiesto dalla D.L..

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

Il diametro di alcuni fori potrebbe essere lievemente incrementato a 116 mm, se richiesto dalla preparazione dei fori o per specifiche indagini, in particolare, per l'esecuzione delle indagini geofisiche previste. Inoltre l'esecuzione di carotaggi sonici e di tomografie soniche che si dovranno realizzare nei fori possono richiedere l'installazione preventiva nei fori di indagine di un rivestimento interno continuo, generalmente un tubo in PVC chiuso all'estremità profonda, con intercapedine tra tubo e roccia integralmente riempita da boiacca cementizia.

Devono in ogni caso essere rispettate le norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione,

l'esecuzione ed il controllo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione emanate con decreto del Ministero dei lavori pubblici dell'11 marzo 1988 e NTC 2008.

Per perforazioni superiori a 30 m dovrà essere compilata, a norma della legge n. 464 del 4 agosto 1984, una dettagliata relazione, corredata dalla relativa documentazione, sui dati geologici e geofisici acquisiti.

L'esatta ubicazione dei singoli sondaggi sarà definita al momento della consegna dei lavori e comunque sarà compresa all'interno dell'area indicata.

Le perforazioni dovranno essere eseguite nei punti preventivamente indicati dalla stazione appaltante, in base agli elaborati presentati. L'ubicazione 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.

Metodi di Perforazione

Tutte le perforazioni previste nel presente progetto dovranno essere eseguite con macchine elettriche; queste ultime dovranno essere idonee anche all'esecuzione di sondaggi inclinati.

Relativamente alla realizzazione di sondaggi geognostici è prevista di norma la perforazione a rotazione con carotaggio continuo con carotiere doppio di tipo T6 (diametro da 101 mm, con corona diamantata - diametro di 200 mm per la sovraperforazione con corona diamantata), in modo da rendere minimo il disturbo delle carote di roccia in fase di perforazione ed estrazione.

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 sondaggio 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%.

Al fine di mantenere le prescrizioni di verticalità predette è previsto che durante le perforazioni l'impresa esecutrice dei lavori monitori con opportuna strumentazione in grado di misurare, con una risoluzione del decimo di grado, l'inclinazione dei due assi X e Y rispetto alla verticale della perforazione, con particolare riguardo ai sovra carotaggi.

Perforazioni a carotaggio continuo di terreni e rocce tenere:

Nei terreni e rocce tenere, il carotaggio dovrà essere eseguito utilizzando preferibilmente il carotiere doppio, mentre l'uso del carotiere semplice dovrà essere preventivamente autorizzato dalla D.L.. 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. Il carotaggio sarà eseguito con acqua come fluido di circolazione se realizzato con carotieri doppi-tripoli (T2, T6, ecc.); l'utilizzo dell'acqua come fluido di perforazione dovrà essere sempre autorizzato preventivamente dal D.L. o dai suoi assistenti di cantiere e, in ogni caso, non dovrà causare alcuna alterazione al materiale carotato. Il carotaggio sarà eseguito a secco, senza fluido di perforazione se realizzato con carotiere semplice (C.S.).

Nei terreni prelevati a secco, qualora l'espulsione della carota dal carotiere sia eseguita con pressione idraulica, dovranno essere impiegati tamponi a tenuta.

Perforazioni a carotaggio continuo di calcestruzzi, materiali litoidi, rocce dure e ammassi fratturati:

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, con corona diamantata, ogni altro tipo di corona deve essere autorizzato dalla direzione lavori. In terreni scistosi 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, l'utilizzo dell'acqua come fluido di perforazione dovrà essere sempre autorizzato preventivamente dal D.L.

Modalità Esecutive delle perforazioni a carotaggio continuo

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 (calcari, 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.

Chiusura e sistemazione finale ed identificazione del foro

Ogni foro di sondaggio, 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 la D.L. potrà richiedere che ciascun foro venga 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).

Cassette catalogatrici

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.

Conferimento a discarica

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

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.

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;
- freatimetro;
- sclerometro di Schmidt;
- attrezzatura per Prova Point Load;
- penetrometro tascabile, fondo scala * 5 kg/cm².

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. 1.3 - Prova di resistenza a carico puntuale (point load strength test)

La prova consiste nella determinazione dell'indice di resistenza a carico puntuale $I_{s(50)}$, ottenuto attraverso l'applicazione di un carico concentrato, mediante due punte coniche di dimensione standard. L'indice di resistenza $I_{s(50)}$ può essere utilizzato per la classificazione della roccia in esame e può fornire indicazioni preliminari in merito ad altri parametri di resistenza della roccia, quali la resistenza a compressione monoassiale e la resistenza a trazione.

La prova è eseguibile sia su spezzoni di carota, con carico applicato diametralmente o assialmente, sia su provini di forma prismatica o irregolare.

Normative e specifiche di riferimento:

ASTM D 5731 - 95 - Standard Test Method for Determination of the Point Load Strength Index of Rock.

Modalità di prova

L'apparecchiatura di prova, conforme agli standard di riferimento, dovrà essere dotata di un strumento di misura del carico che garantisca una precisione non inferiore al 5% del carico applicato e che consenta la memorizzazione del massimo carico raggiunto alla rottura. La prova

dovrà essere condotta eseguendo almeno 20 rotture. Nel caso in cui la roccia in esame sia anisotropa, dovranno essere eseguite 10 rotture perpendicolari e 10 rotture parallele ai piani di debolezza. I frammenti di roccia da sottoporre a prova dovranno rispettare i seguenti requisiti dimensionali:

Test diametrali su spezzoni di carota:

- distanza tra le punte di carico e l'estremità più vicina $L > 0,5 D$ con D = diametro della carota (corrispondente alla distanza tra le punte di carico);
- $D > 30$ mm.

Test assiali su spezzoni di carota:

- rapporto tra la lunghezza D (corrispondente alla distanza tra le punte di carico) ed il diametro W della carota compreso tra 0,3 e 1;
- $D > 30$ mm.

Test su provini irregolari:

- rapporto tra l'altezza D (corrispondente alla distanza tra le punte di carico) e la larghezza media W del piano di rottura, compreso tra 0,3 e 1;
- distanza tra le punte di carico e l'estremità più vicina $L > 0,5 D$;
- $D > 30$ mm.

Ogni frammento di roccia appartenente alla serie di prova dovrà essere portato a rottura incrementando il carico gradualmente e senza brusche variazioni. La velocità di incremento del carico dovrà essere scelta in modo che la rottura del provino avvenga in un intervallo di tempo compreso tra 10 e 60 secondi.

Per ciascuna rottura si registreranno i seguenti dati:

- numero della rottura;
- tipo di rottura (diametrale, assiale, su spezzone irregolare);
- diametro della carota per prove assiali o larghezza media del piano di rottura per prove su spezzoni irregolari W [mm];
- distanza tra le punte di carico D [mm];
- carico di rottura P [kN].

Non saranno considerate valide le rotture che presentano piano di rottura passante solo per una delle punte di carico. Per ciascun frammento sottoposto a rottura si determineranno e si registreranno i seguenti parametri:

- diametro equivalente D_e con $D_e = D$ per le prove diametrali e $D_e = (4 \cdot W \cdot D / \pi)^{0.5}$ per le prove assiali e su provini irregolari;
- indice di resistenza a carico puntuale non corretto $I_s = P / D_e^2$ [MPa].

A conclusione della prova, si dovranno determinare gli indici di resistenza a carico puntuale corretti $I_{s(50)}$ medi nella direzione normale e parallela ai piani di debolezza e l'indice di anisotropia $I_{a(50)}$ ottenuto dal rapporto tra gli indici di resistenza a carico puntuale medi corretti normali e paralleli ai piani di debolezza. Il valore dell'indice di resistenza a carico puntuale corretto $I_{s(50)}$ medio dovrà essere determinato plottando in scala bilogarithmica tutte le coppie di valori D_e^2 / P ottenute nella prova per ciascuna direzione di carico e ricavando per interpolazione lineare il valore di $P_{(50)}$ corrispondente a D_e^2 pari a 2.500 mm² ($D_e = 50$ mm); il valore di $I_{s(50)}$ sarà quindi determinato secondo l'espressione:

$$I_{s(50)} = P_{(50)} / 2500$$

Qualora i dati di prova risultassero eccessivamente dispersi, la determinazione di $I_{s(50)}$ dovrà essere eseguita su ogni provino secondo la seguente relazione:

$$I_{s(50)} = I_s \cdot \left(D_e / 50 \right)^{0.45}$$

Il valore di $I_{s(50)}$ medio sarà in questo caso ottenuto dalla media dei valori di $I_{s(50)}$ calcolati con esclusione dei due valori più alti e dei due valori più bassi per ciascuna direzione di carico; sarà

inoltre eseguita una valutazione statistica dell'attendibilità della prova con determinazione della deviazione standard e del coefficiente di variazione per ciascuna direzione di carico.

Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- descrizione litologica del campione;
- tabella con tutti i dati acquisiti in fase di prova (numero della rottura, tipo di campione, diametro o larghezza media del piano di rottura W [mm], distanza tra le punte di carico D [mm] e carico di rottura P [kN]);
- tabella con tutti i parametri calcolati (numero della rottura, diametro equivalente D_e [mm], indice di resistenza a carico puntuale non corretto I_s [MPa]);
- grafico bilogarithmico P/D_e^2 relativo alle prove eseguite in direzione normale ai piani di debolezza con indicazione della retta di interpolazione e determinazione del valore di P_{50} normale medio;
- grafico bilogarithmico P/D_e^2 relativo alle prove eseguite in direzione parallela ai piani di debolezza con indicazione della retta di interpolazione e determinazione del valore di P_{50} parallelo medio;
- tabella con i valori caratteristici di $I_{s(50)}$ medio normale e parallelo ai piani di debolezza e dell'indice di anisotropia $I_{a(50)}$;
- eventuale tabella contenente i risultati della valutazione dell'attendibilità statistica della prova;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo (manometri, trasduttori di pressione), non antecedente di tre mesi dalla data di prova.

Dati generali e tecnici

I dati generali e tecnici dovranno riportare:

Denominazione del Cantiere;

Committente;

Impresa esecutrice;

Numero del sondaggio;

Quota;

Inclinazione del sondaggio rispetto la 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.

Parametri di perforazione: Tempi di manovra, di velocità e di spinta di avanzamento;

Profondità di prelievo dei campioni indisturbati e rimaneggiati;

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.

Descrizione stratigrafica

La descrizione stratigrafica deve riportare:

- tipo di terreno o di roccia;
- condizioni di umidità naturale;
- consistenza;
- colore o colore prevalente;
- struttura;
- particolarità aggiuntive;
- litologia ed origine;
- percentuale di recupero;
- rilievo del livello dell'acqua nel foro;
- eventuali franamenti, perdite di circolazione, cavità;
- Quote di eventuali prove geotecniche in foro.

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.

Terreni non rocciosi**1) Recupero % di carotaggio**

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

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

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

2) Tipo di terreno

a) Composizione granulometrica approssimata del terreno in esame, con riferimento alla tabella 63.1

Tabella 63.1. - Tipo di terreno

Definizione		Diametro dei grani (mm)	Criteri di identificazione
Blocchi		>200	<i>Visibili ad occhio nudo</i>
Ciottoli		200÷60	
Ghiaia	grossa media fine	60÷20 20÷6 6÷2	
Sabbia	grossa media fine	2÷0.6 0.6÷0.2 0.2÷0.06	
Limo		0.06÷0.002	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 agrario organico o vegetale			Contiene una rilevante percentuale di sostanze organiche vegetali
Torba			Predominano resti lignei non mineralizzati, colore scuro, bassa densità

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 63.2.

Tabella 63.2. - Arrotondamento

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 calsto
Arrotondata	0.40-0.60	Rimozione delle superfici originali, con qualche superficie piatta
Ben-arrotondata	0.60-1	Superficie interamente compresa da curve ben arrotondate

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 63.3, 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 20 X 30 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.

Tabella 63.3. - Consistenza terreni coesivi

Definizione	Resistenza al penetrometro tascabile (kg/cm ²)	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

Nel caso di terreni granulari si esprimerà la consistenza in termini di addensamento, con riferimento alla tabella 63.4.

Tabella 63.4. - Addensamento terreni granulari

N _{spt}	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

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.

Nel caso di sondaggi in roccia si potranno adottare definizioni più generiche, avendo cura però di distinguere il colore della roccia intatta da quello delle superfici delle fratture o discontinuità, evidenziando ciò che può dare indicazioni sulla presenza di filtrazione idrica (sarà descritto scegliendo o combinando i seguenti termini):

- rosa;
- rosso;
- viola;
- arancione;
- giallo;
- marrone;
- verde;
- grigio;
- nero.

6) 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%.

7) Simboli grafici per rappresentare terre e rocce

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.

8) 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.

Terreni non rocciosi

La parte dei moduli stratigrafici dedicata alla descrizione dei materiali litoidi riporterà oltre ai dati già descritti per le terre anche le seguenti voci: (fig. 63.2):

- recupero % di carotaggio;
- RQD;
- dimensione degli spezzoni di roccia;
- natura e caratteri strutturali;
- grado di alterazione;
- tipo di discontinuità;
- natura delle superfici;
- inclinazione delle superfici di debolezza;
- scabrezza delle superfici di discontinuità (JRC);
- riempimento;

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)

E' 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 ≥ 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.

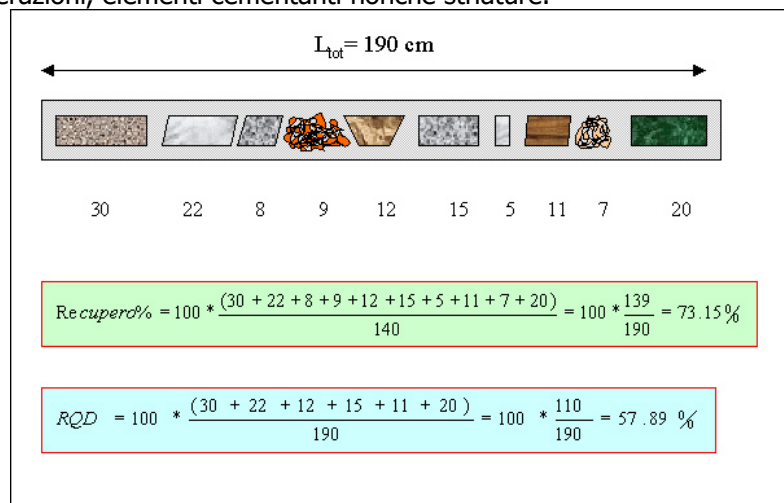


Fig. 63.3 - Recupero % di carotaggio e RQD

Attraverso l'indice RQD è possibile fornire una valutazione sulla qualità della roccia presa in esame (tabella 63.5.).

Tabella 63.5. - Qualità della roccia attraverso RQD

Rqd	Qualità della roccia
0-25	<i>molto scadente</i>
25-50	<i>scadente</i>
50-75	<i>discreta</i>
75-90	<i>buona</i>
90-100	<i>eccellente</i>

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

- Stratificazione

Indicare i piani di strato visibili, precisandone la spaziatura, definibile in accordo alla tabella 63.6.

Tabella 63.6. - Stratificazione

Spaziatura media (mm)	Termini descrittivi
< 2000	Stratificazione in banchi
2000 ÷ 600	Strati di elevato spessore
600 ÷ 200	Strati di medio spessore
200 ÷ 60	Strati di sottile spessore
60 ÷ 20	Strati di spessore molto sottile
20 ÷ 6	Laminazione
< 6	Sottile laminazione

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 disgregazione con riferimento alla tabella 63.7.

Tabella 63.7. - Grado di alterazione

Definizione	Descrizione
Assente	Nessun segno visibile di alterazione, roccia sana, cristalli lucenti.
Debole-Moderata	Le superfici di debolezza presentano patine di ossidazione da locali a diffuse e possono essere decolorate, con possibili sottili strati di riempimento. La decolorazione può penetrare nella roccia per spessori fino al 20% della spaziatura dei piani di discontinuità.
Media	La decolorazione penetra nella roccia per spessori superiori al 20% della spaziatura dei piani di discontinuità, che possono contenere riempimenti di materiale alterato. Sono visibili i primi segni di disgregazione della roccia in particolar modo lungo i piani di scistosità (lamine e piccole scaglie non del tutto separate dalla superficie).
Elevata	La decolorazione interessa per intero la roccia, che è in parte friabile. L'originale struttura della roccia è conservata, ma i cristalli sono separati tra loro.
Intensa	La roccia è completamente decolorata, decomposta e friabile, con l'aspetto esteriore di un suolo. Internamente la struttura originale può essere riconosciuta, la separazione fra i cristalli è completa.

6) Tipo di discontinuità

Con il termine "discontinuità" si definisce un piano o una superficie di debolezza presente all'interno dell'ammasso roccioso. Tipi di discontinuità:

fratture (FR): superfici o piani di discontinuità in senso lato con o senza materiale di riempimento.

faglie (FG): superfici di debolezza lungo i cui lembi si sono avuti spostamenti relativi, sottolineati talora dalla presenza di striature; l'attrito tra i due piani può dare origine a fenomeni di brecciatura e fratturazione.

scistosità (SC): tessitura determinata dalla disposizione preferenziale in letti o bande (cristallizzazione orientata) come effetto di spinte tettonico/metamorfiche.

7) Natura delle superfici

Per le superfici di discontinuità prive di riempimento è necessario fornire la resistenza di parete utilizzando lo sclerometro di Schmidt; tale strumento consente di determinare un indice JCS correlabile, in funzione della densità della roccia, alla resistenza a compressione.

Una stima speditiva alternativa può essere fornita in funzione dell'entità della scalfitura provocata da una punta di acciaio:

- superficie soffice: scalfibile con l'unghia
- superficie di media durezza: scalfibile con punta di acciaio
- superficie dura: scalfibile debolmente con punta di acciaio

8) 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.

9) JRC (Scabrezza delle superfici di discontinuità – Joint roughness coefficient)

La scabrezza delle superfici di discontinuità viene valutata utilizzando un opportuno profilatore (pettine di Barton) che permette di ricavare l'impronta della carota lungo una direzione. Il profilatore deve essere applicato lungo la direzione di massima inclinazione della superficie e lungo la sua perpendicolare ottenendo così due distinti profili. Il valore JRC, variabile da 0 a 20, viene ottenuto sovrapponendo i due profili con quelli di riferimento riportati in fig. 63.4. In stratigrafia si inseriranno prima il JRC misurato lungo la massima inclinazione seguito da quello misurato lungo la perpendicolare. (esempio: 10-12/8-10)

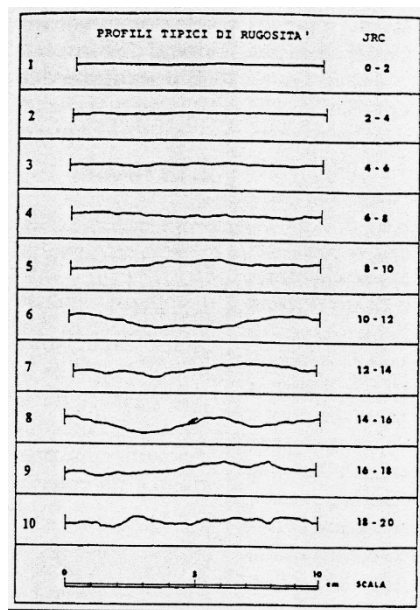


Fig. 63.4. – Profili di scabrezza

10) Riempimento

In corrispondenza di ciascuna superficie di discontinuità deve essere descritto anche l'eventuale riempimento presente e la sua natura, in accordo ai criteri adottati per le terre.

11) Spaziatura

Indicare la spaziatura dei giunti con riferimento alla tabella 63.8..

Tabella 63.8. - Spaziatura e fratturazione

Spaziatura delle fratture	Termini descrittivi
< 5 cm	Fratture molto ravvicinate
5 ÷ 30 cm	Fratture ravvicinate
30 ÷ 100 cm	Fratture moderatamente ravvicinate
100 ÷ 300 cm	Fratture distanziate
> 300 cm	Fratture molto distanziate

12) Apertura

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

13) Persistenza

Descrivere anche la persistenza ovvero se la discontinuità termina o meno.

14) 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 i 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.

Nel caso di sondaggi in roccia si potranno adottare definizioni più generiche, avendo cura però di distinguere il colore della roccia intatta da quello delle superfici delle fratture o discontinuità, evidenziando ciò che può dare indicazioni sulla presenza di filtrazione idrica (sarà descritto scegliendo o combinando i seguenti termini):

- rosa;
- rosso;
- viola;
- arancione;
- giallo;
- marrone;
- verde;
- grigio;
- nero.

15) 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;
- cementazione più o meno regolare e relativo grado;
- effervescenza all'acido HCl in soluzione diluita al 5%.

16) Litologia ed origine

Il tipo litologico sarà definito nel caso di terreni da semi-litoidi a rocciosi.

Nelle tabelle 63.9, 63.10 e 63.11 vengono indicati alcuni criteri classificativi relativi ad alcune categorie di comune reperimento; qualora il tipo litologico da descrivere non rientri nei casi sotto indicati, sarà cura del responsabile di cantiere indicare, sia pure per categorie principali, la corretta definizione. Ciò vale in particolare per le rocce cristalline intrusive, effusive laviche e metamorfiche, per le quali i sistemi di classificazione sono basati sulla composizione mineralogica o chimica e non possono essere riassunti nel presente testo, sia per la loro complessità che per il fatto di richiedere determinazioni diverse dalla sola osservazione macroscopica o dai semplici criteri di prova applicabili in cantiere.

Tabella 63.9.- Rocce sedimentarie terrigene carbonatiche - Termini di transizione

Granulometria clasti costituenti		Definizione			
		Clasti terrigeni		Clasti carbonatici	
Argilla		Argillite		Calcilutite	
Limo		Siltite		Calcsiltite	
Sabbia	fine	Arenaria	fine	Calcarenite	fine
	media		media		media
	grossa		grossolana		grossolana
Ghiaia	fine	Conglomerato o Breccia	fine	Calcirudite	fine
	media		media		media
	grossa		grossolana		grossolana

Tabella 63.10. - Depositi sedimentari terrigeni e carbonatici

CaCO₃ (%)	Definizione
0 - 5	argilla - argillite
5 - 15	argilla debolmente marnosa
15 - 25	argilla marnosa
25 - 35	marna argillosa
35 - 65	Marna
65 - 75	marna calcarea
75 - 85	calcare marnoso
85 - 95	calcare debolmente marnoso
95 - 100	Calclutite

Note: è opportuno specificare il grado di cementazione che, spesso, è funzione della percentuale di CaCO₃, anche se non necessariamente. Il contenuto di CaCO₃ può essere stimato in base alla effervescenza dell'acido cloridrico diluito al 5%.

Tabella 63.11. - Depositi vulcanici piroclastici

Granulometria clasti costituenti	Definizione	
	Tufo	Tufite
Argilla	Cinerite	Tufite argillosa
Limo	Tufo cineritico	Tufite limosa
Sabbia	Tufo e lapilli	Tufite sabbiosa o arenacea
Ciottoli e blocchi	Agglomerato	Tufite conglomeratica

Note:
 Tufo = deposito piroclastico primario
 Tufite = deposito piroclastico primario commisto a sedimenti non vulcanici
 Specificare il grado di saldatura o cementazione dei depositi, che può anche essere nullo.

Oltre al tipo litologico, quando riconoscibile, potranno essere precisate per tutti i terreni informazioni sull'origine del terreno, distinguendo in modo particolare:

- terreni derivati da trasporto e sedimentazione dei materiali;
- terreni rimasti in situ, specificando se sono riconoscibili azioni fisico-chimiche di alterazione, sostituzione, cementazione.

17) Simboli grafici per rappresentare terre e rocce

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.

18) 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 in particolare prima e dopo ogni interruzione di lavoro (sera, mattina, altre pause), con annotazione di quanto segue:

- livello dell'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.

Art. 1.5 - Campionamenti durante i sondaggi geotecnici**Generalità**

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 dal carotaggio in terreni rocciosi.

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.

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 (corceccia, 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:

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

- diametro utile ≥ 85 mm

dove:

L = lunghezza utile della fustella
 D_i = diametro interno della fustella
 D_{est} = 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:

- a.1) campionatore a pistone, tipo Osterberg;
- a.2) campionatore a fune, tipo RODIO - NENZI (RO-NE);

a.3) campionatore rotativo a pareti sottili, tipo CRAPS;

a.4) altri campionatori (in tutti i casi subordinandone l'uso alla preventiva autorizzazione della direzione dei lavori).

Il campionatore Osterberg, a parete sottile, è il più comune dei tipi a pistone; può essere utilizzato con profitto in terreni a grana fine o coesivi, con consistenza da tenera a media ed aventi resistenza al taglio ≥ 20 t/mq, in relazione alla potenza della pompa utilizzata. Funziona bene anche in sabbie, fino a quelle mediamente addensate.

Il campionatore a fune con pistone agganciabile permette il campionamento in terreni la cui consistenza arresterebbe la fustella spinta idraulicamente. Sostituisce validamente il classico Shelby, avendone la stessa capacità penetrativa (utilizza la spinta meccanica della batteria di aste), con i vantaggi del pistone.

Il campionatore CRAPS, con scarpa sporgente e fustella a pareti sottili permette di campionare i terreni compatti a grana fine o coesivi, la cui consistenza arresterebbe l'infissione a pressione della fustella. Viene spinto e ruotato meccanicamente dalla batteria di aste.

I campionatori quali i tradizionali Shelby, Denison e Mazier, possono essere utilizzati solo in seguito alla preventiva autorizzazione da parte della direzione dei lavori e comunque sotto la completa responsabilità dell'impresa per quanto riguarda l'esito del campionamento. Altri tipi di campionatore possono essere presentati dall'impresa stessa, per essere sottoposti a preventivo esame da parte della direzione dei lavori.

Osservazioni aggiuntive

L'infissione del campionatore deve sempre avvenire in un'unica tratta.

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

Nel campionatore rotativo, la sporgenza della fustella dal carotiere esterno può essere regolata a priori fra 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 l'autosostentamento del foro nel tratto scoperto non esista anche per il breve lasso di tempo necessario al prelievo, si rivestirà prima di campionare avendo cura di fermare l'estremità inferiore del rivestimento metallico provvisorio $0,2 \times 0,5$ m più in alto della quota di inizio prelievo, ripulendo quindi il fondo del foro.

Si deve inoltre evitare qualsiasi eccesso di pressione nel fluido di circolazione nella fase di installazione dei rivestimenti. A tal fine, la pressione del fluido alla testa del foro dovrà essere controllabile in ogni istante attraverso un manometro di basso fondo scala (10 bar) (da escludere nelle fasi di campionamento Osterberg, ove sono necessarie pressioni maggiori)

Campioni semidisturbati con campionatore a pressione/percussione

Il prelievo verrà eseguito con campionatore cosiddetto "a pareti grosse" con fustella di plastica inserita, diametro adeguato alla granulometria del terreno ed al diametro del foro, comunque avente diametro utile (del campione) non inferiore a 85 mm.

Se necessario il campionatore deve essere munito di cestello di ritenuta alla base. L'infissione avverrà a percussione o a pressione in base alla compattezza del terreno.

In alternativa a questo tipo di campionatore potrà essere richiesto l'impiego del campionatore rotativo a tripla parete e scarpa avanzata tipo Denison o Mazier aventi diametro utile (della carota) non inferiore a 70 mm.

Campioni indisturbati con campionatore a pistone stazionario e rotativo

La fustella da impiegare è sempre quella a pareti sottili, costituita da un cilindro di acciaio inox avente rapporto fra lunghezza utile e diametro utile pari a 8, nonchè rapporto delle aree compreso fra 9 e 13. Il cilindro deve essere pulito, liscio, privo di cordoli e non ovalizzato. Il diametro utile sarà ≥ 85 mm

Il più comune dei campionatori a pareti sottili con pistone è quello tipo Osterberg (*) che quando utilizzato con una buona pompa può prelevare campioni:

- in terreni coesivi aventi resistenza al taglio fino a 30 t/mq;
- in sabbie da sciolte a mediamente addensate.

Per terreni di compattezza superiore a quella di utilizzazione dell'Osterberg, l'impresa impiegherà possibilmente il campionatore a pareti sottili a pistone trattenuto da fune (**), oppure quello a

pareti sottili rotativo con scarpa avanzata (***), entrambi spinti meccanicamente dal "pull down" della sonda agente sulla batteria di aste.

Ove il campionatore rotativo sopra descritto non fosse disponibile, potrà essere impiegato il campionatore rotativo a tripla parete, tipo Danison, ma con scarpa migliorata (****).

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

Nel campionatore rotativo la sporgenza della fustella del carotiere in rotazione esterno può essere scelta a priori fra 0.5 e 3-4 cm, ma deve poi rimanere costante durante il prelievo.

In terreni coesivi la scarpa (estremità inferiore) del rivestimento metallico provvisorio deve essere mantenuta 0.2 * 0.5 m più alta della quota di inizio prelievo. Inoltre si deve evitare qualsiasi eccesso di pressione nel fluido di perforazione, nella fase di installazione dei rivestimenti. A tal fine, la pressione del fluido alla testa del foro, dovrà essere controllabile in ogni istante attraverso un manometro di basso fondo scala (10 bar) (da escludere nelle fasi di campionamento con Oesrsterberg, ove sono necessarie pressioni ben più alte)

Spezzoni di carota lapidea e/o di strati cementati

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

Indicazioni sul campione

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

- 1) committente;
- 2) cantiere;
- 3) numero del sondaggio;
- 4) numero del campione;
- 5) profondità di prelievo;
- 6) tipo di campionatore impiegato;
- 7) data di prelievo;
- 8) 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.

Imballaggio e trasporto dei campioni

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.

Tabella 64.1. - Scheda riassuntiva sui tipi di campionatore secondo le "Raccomandazioni A.G.I."

Campionatori pesanti a percussione	Generalmente predisposti con astuccio interno di contenimento, talvolta con dispositivo di ritenuta alla base (estrattore, molla a cestello);
Campionatori a pareti sottili	Previsti generalmente per terreni coesivi a grana fine, poco o moderatamente consistenti. Il tubo di infissione, in acciaio di qualità, è impiegato anche come contenitore e pertanto deve essere resistente alla corrosione (acciaio inossidabile oppure zincato o cadmiato oppure termoplastificato). Rientrano tra i campionatori a parete sottile i campionatori a pistone e quelli a pressione idraulica (Shelby a pressione e Oersterberg, a pistone). Il campionatore Oersterberg è impiegato solo in terreni coesivi e semicoesivi teneri e medi;
Campionatori a rotazione (rotativi) a doppia o tripla parete con scarpa tagliente avanzata	Si impiegano in terreni coesivi di elevata consistenza nei quali non sia possibile l'infissione di campionatori a pressione o a pistone; il tubo interno non rotante, che funziona da contenitore, è spinto nel terreno mentre il tubo esterno, rotante e dotato di corona tagliente, asporta il terreno circostante; per un buon campionamento è indispensabile che la scarpa del tubo interno sporga rispetto alla scarpa del tubo rotante.

Attrezzatura per i campionamenti

I campionatori a parete sottile con pistone e quello rotativo a doppia parete, sono costituiti da cilindri di acciaio inox sagomati a tagliente nella parte terminale, e devono avere le seguenti dimensioni:

- diametro interno non inferiore a 85 mm;
- lunghezza utile ≥ 60 cm.

Le dimensioni del campione rotativo a tripla parete devono essere:

- diametro interno ≥ 65 mm;
- lunghezza da 60 a 100 cm.

I campionatori rotativi consistono in due tubi di acciaio: uno rotante esterno ed uno fisso interno; quello a doppia parete ha anche la funzione diretta di contenitore per la spedizione dei campioni al laboratorio; quello a tripla parete ospita a tal fine un apposito cilindro di lamiera o in PVC.

Il tubo esterno è fornito di una corona avvitata all'estremità inferiore, mentre quello interno è sagomato a tagliente e sporge da quello esterno di una quantità dipendente dalla consistenza del terreno da campionare.

I campionatori rotativi vengono fissati nel terreno per mezzo di rotazione e pressione, usando fluidi di circolazione, mentre i campionatori a parete sottile con pistone devono essere infissi a pressione ed in un'unica tratta.

Art. 1.6 - Prova 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.

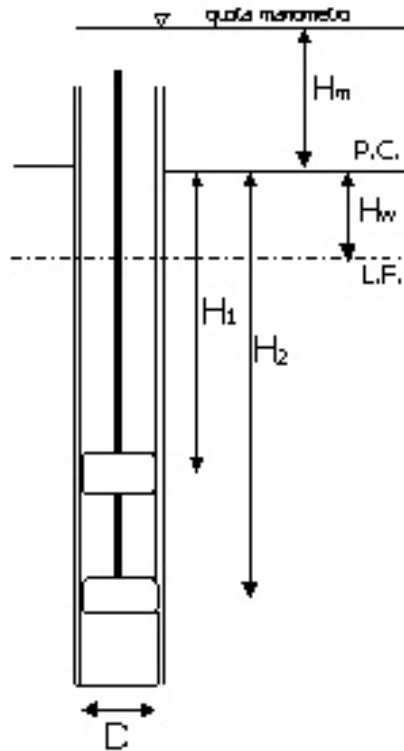


Fig. 65.1 – Schema della geometria del foro Lugeon

Le prove lugeon saranno di norma eseguite con la metodologia esecutiva **"Prova in risalita con otturatore doppio"** successivamente descritta.

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.

Normativa di riferimento

- 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.

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 $A_f * 2 A_t$, 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 contalitri dovrà essere tarato in situ prima di iniziare le prove, riempiendo un contenitore di volume noto e superiore a 100 l.

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

$$P_c = P/l$$

- 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 sondina 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 1MPa, e solo nei casi di elevata resistenza meccanica della matrice rocciosa. In condizioni diverse è preferibile non superare pressioni di 0.3 MPa in rocce poco resistenti e di 0.5 MPa in rocce mediamente resistenti.

In condizioni di prova a scarsa profondità in rocce poco resistenti, solo 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 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.

Tabella 65.1. - Gradini di pressione in funzione delle condizioni di prova

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

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 immaneabili 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 35 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.

Art. 1.7 - Tomografie soniche

Da eseguire nei sondaggi in modo da ottenere un rilievo tomografico della velocità V_p per profondità comprese tra la quota del vano interno della diga e il fondo foro (circa 32 m in roccia).

La tomografia sonica richiesta (onde P) richiede il pre-rivestimento dei fori con tubo in PVC chiuso all'estremità profonda, con intercapedine tra il tubo e la roccia sigillata integralmente con boiaccia cementizia. Il tubo viene riempito d'acqua per ottenere un adeguato accoppiamento acustico tra strumenti (sorgente e ricevitori di onde P), tubo e roccia circostante.

Per consentire una corretta elaborazione dei dati di misura, è necessario effettuare un rilievo preliminare della geometria dei fori, mediante rilievo inclinometrico bidirezionale di ciascuna verticale e rilievo topografico della posizione della testa dei fori.

Il rilievo di tomografia sonica dovrà permettere di ricavare mappe (tomogrammi) della distribuzione della velocità di propagazione delle onde P (e quindi delle caratteristiche elastiche del mezzo) lungo sezioni piane. Il punto di partenza per la ricostruzione di tali mappe è dato dalla misura dei tempi di propagazione delle onde longitudinali lungo un elevato numero di percorsi i quali, con diverse inclinazioni, si incrociano mutuamente nella zona delimitata dalla posizione dei punti di emissione e ricezione in foro.

L'indagine sarà eseguita nel rispetto dei seguenti requisiti. Posizionamento della catena dei ricevitori idrofonici (passo 1 m) in un foro e della sonda trasmittente nel foro adiacente, posizionando quest'ultima a profondità variabile con passo 1 m.

Riposizionamento di sorgente e ricevitori in un'altra coppia di fori in modo da ottenere un'adeguata copertura di percorsi delle onde sull'intera sezione investigata (delimitata dai fori esterni). Le caratteristiche della sorgente e dei ricevitori saranno scelte in modo da ottenere una risoluzione ottimale in un ammasso roccioso prevedibilmente di qualità discreta-buona (con riferimento all'indice di qualità GSI).

Art. 1.8 - Rilievi televisivi BHTV

I rilievi televisivi BHTV dovranno essere eseguiti su tutti i fori di indagine. Il rilievo ha finalità e modalità esecutive in parte diverse per il tratto di perforazione in calcestruzzo e in roccia. Nel tratto in calcestruzzo ha interesse verificare l'eventuale presenza di singole fessure estese e il rilievo può essere eseguito anche in condizioni asciutte. Il tratto in roccia sarà rilevato in condizioni sature (foro pieno d'acqua), in modo sistematico, iniziando dal fondo foro. E' richiesto l'utilizzo di telecamera ottica digitale a colori ad alta risoluzione ("scanner ottico" CCD a 360° con specchio conico) con registrazione continua durante la risalita. Il filmato dovrà essere successivamente elaborato con software specifico per l'analisi d'immagine e il rilievo sistematico della giacitura delle fratture o della traccia di altre superfici intercettate dal foro, con restituzione grafica delle giaciture assolute (immersione / inclinazione) e dell'apertura delle fratture individuate.

Art. 1.9 - Prova preliminare di estrazione (pull-out) sulle barre di prova

Prima dell'esecuzione del sovra-carotaggio sulle due barre di prova è prevista l'esecuzione di un prova preliminare di estrazione (pull-out) di una barra di acciaio del diametro di 44 mm inghisata nella roccia di fondazione dei vani interni della diga.

La prova dovrà essere eseguita senza raggiungere il carico di trazione teorico di snervamento della barra ($N_y = 760$ kN, valore stimato del carico al limite di snervamento). Per l'esecuzione della prova è necessaria la demolizione, mediante martello a percussione, della malta e della roccia circostante la barra per un tratto di circa 0.5 m di profondità (dalla testa della barra), in modo da consentire il collegamento del tratto iniziale di barra con una barra filettata di prolunga su cui possa agire un martinetto idraulico. Il martinetto idraulico (di tipo cilindrico cavo) con cui eseguire la prova dovrà avere una capacità di circa 1000 kN; il carico massimo che si prevede di raggiungere nel corso della prova è di 400 kN. La prova sarà eseguita effettuando un primo ciclo di carico-scarico a 100 kN ed un secondo ciclo a 200 kN, raggiungendo poi il carico massimo previsto (400 kN). Inoltre, per l'esecuzione della prova si richiede l'utilizzo di una cella di carico toroidale e di comparatori di spostamento fissati ad una base di riferimento posta a sufficiente distanza dalla piastra di appoggio a terra del sistema di carico. Le misure del carico e dello spostamento assiale della testa della barra andranno effettuate con sistema di acquisizione automatico continuo.

Art. 1.10 - Documentazione da produrre

Tutta la documentazione prevista dal presente disciplinare e dai documenti allegati dovrà essere trasmessa dall'operatore economico all'Ente in copia cartacea nonché in formato digitale, su supporto digitale non modificabile (DVD) contenenti tutti gli elaborati redatti e relativi allegati, in formato editabile, modificabile e riproducibile liberamente dall'Ente (ASCII-DWG-SHP-WORD-XLS-ecc.), e in formato non editabile (PDF-JPG-ecc.), compreso il formato P7M. Su ogni file dovrà essere apposta la marca temporale e la firma digitale dell'operatore economico e di eventuali collaboratori personalmente responsabili.

Art.2 - PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO

Art. 2.1 - Generalità

Requisiti generali del laboratorio

L'attività del laboratorio di prova dovrà essere condotta in accordo alla **norma UNI-CEI-EN 45001 «Criteri generali per il funzionamento di laboratori di prova»**.

Il laboratorio dovrà essere autorizzato dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei LL.PP. per l'esecuzione e certificazione delle prove sui materiali da costruzione, le terre e le rocce, di cui all'art. 59 del DPR 380/2001

Il laboratorio di prova dovrà essere competente per l'esecuzione delle prove in programma; il personale tecnico dovrà essere in numero sufficiente, ed avere una adeguata formazione ed aggiornamento documentabile e dovrà far capo ad un responsabile di laboratorio, il quale dovrà assumersi la responsabilità di tutte le prove e misurazioni svolte.

Locali di prova

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

Per quanto riguarda ambienti particolari quali camera umida di conservazione o zona di preparazione provini e assemblaggio delle prove, i locali dovranno essere dotati di strumentazione di controllo e condizionamento ambientale.

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

Apparecchiature di prova

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

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

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

- il nome dell'apparecchiatura
- il nome del fabbricante, l'identificazione del tipo ed il numero di serie
- la data di acquisizione e la data di messa in servizio
- lo stato al momento del ricevimento
- le operazioni di manutenzione eseguite
- i danni subiti e le riparazioni eseguite
- copia del certificato di taratura di data non anteriore di sei mesi alla data di prova.

Una copia delle schede di registrazione delle apparecchiature da utilizzare nell'ambito della Commessa dovrà essere sottoposta alla direzione per l'esecuzione del contratto prima dell'inizio dell'attività di prova.

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

Copia dei certificati di taratura delle apparecchiature e degli strumenti di misura utilizzati per l'esecuzione delle prove, di data non anteriore di sei mesi alla data di prova, dovrà accompagnare il rapporto di prova emesso dal laboratorio a conclusione dell'incarico.

▪ **Identificazione dei campioni**

Sarà necessario presentare alla direzione dei lavori le procedure adottate dal laboratorio prove per l'identificazione dei campioni e delle parti di campioni da sottoporre a prova.

Al momento del ricevimento dei campioni si dovrà controllare la corrispondenza con le distinte o le stratigrafie di accompagnamento, segnalando immediatamente qualsiasi difformità alla direzione per l'esecuzione del contratto.

Tutti i campioni e le relative porzioni da sottoporre a prova (provini) dovranno essere chiaramente identificati da una sigla o da un codice che accompagnerà il campione o il provino in tutte le fasi dell'attività di laboratorio (conservazione, preparazione dei provini da sottoporre a prova, esecuzione delle prove, preparazione della documentazione di prova e del rapporto finale di prova); dovrà inoltre essere stabilita una corrispondenza tra il codice adottato dal laboratorio per l'identificazione dei campioni e dei provini e il sistema di identificazione utilizzato durante il prelievo in situ, in modo che i risultati delle prove di laboratorio siano sempre chiaramente attribuibili.

Prima dell'inizio delle attività di laboratorio dovrà essere redatta e trasmessa alla direzione per l'esecuzione del contratto una scheda contenente:

- la località di prelievo
- il numero del sondaggio o del pozzetto esplorativo
- la profondità di prelievo
- il codice adottato nel corso del campionamento
- il codice identificativo del campione o del provino adottato in laboratorio
- il programma di prove indicato dalla società
- il programma temporale di attuazione.

Conservazione dei campioni

I campioni consegnati al laboratorio dovranno essere conservati in modo da non alterarne le caratteristiche naturali. All'atto della consegna si verificheranno le condizioni di sigillatura dei campioni e si segnaleranno tempestivamente alla direzione per l'esecuzione del contratto eventuali danni alle fustelle che potrebbero aver alterato le condizioni originarie dei campioni (ovalizzazioni, deformazioni anomale, etc.).

I campioni dovranno essere conservati in cella umidificata a temperatura ed umidità controllata in modo da garantire il mantenimento dei seguenti parametri ambientali:

- temperatura : $20^{\circ} \pm 2^{\circ}$
- umidità relativa > 95%

Al termine delle attività di prova, i campioni residui non sottoposti a prova dovranno essere conservati in ambiente ad atmosfera controllata e potranno essere avviati a discarica, unitamente ai campioni ed ai provini sottoposti a prova, idoneamente conservati, solo previa autorizzazione della direzione per l'esecuzione del contratto o, salvo diverse indicazioni, dopo 2 anni dalla fine dei lavori.

In tutte le fasi dell'attività di laboratorio, i campioni e le relative porzioni da sottoporre a prova dovranno essere trattati e manipolati in modo di minimizzare il disturbo ad essi arrecato e di alterarne il meno possibile le caratteristiche e le proprietà naturali che devono essere determinate o investigate.

In particolare si dovrà avere la massima cura per evitare di:

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

Risulta di conseguenza necessario che le operazioni di apertura, descrizione, selezione dei materiali e preparazione dei provini siano effettuati in ambienti con temperatura intorno ai 20° ed umidità non inferiore al 75%, meglio se ad atmosfera controllata; in ogni caso le condizioni ambientali della zona di preparazione dei provini devono essere tali da assicurare variazioni del contenuto d'acqua non superiori all'1 %.

In linea di principio, l'inizio delle analisi o prove programmate dovrà immediatamente seguire l'apertura dei campioni; nel caso in cui l'inizio delle attività di prova debba essere necessariamente

procrastinato, i provini già confezionati, opportunamente siglati e sigillati, dovranno essere conservati nel locale ad atmosfera controllata utilizzato per la conservazione dei campioni.

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

Modifiche al programma di prove

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

A tale proposito il laboratorio dovrà comunicare alla direzione per l'esecuzione del contratto il programma temporale delle attività, in modo che sia possibile presenziare all'apertura dei campioni, al fine di concordare eventuali modifiche al programma di prove.

In nessun caso il laboratorio potrà proseguire nel programma di prove o modificare il programma di prove senza la preventiva autorizzazione della direzione per l'esecuzione del contratto.

Rapporti con la D.L.

Il responsabile del laboratorio manterrà i contatti con la D.L. o con la persona da delegata. Dovrà inoltre comunicare qualsiasi problema o inconveniente che dovesse insorgere durante l'effettuazione delle prove in programma e si farà carico di trasmettere un rapporto comprendente lo stato di avanzamento dell'attività di laboratorio per ogni variazione rispetto al programma temporale trasmesso inizialmente.

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

Normative di riferimento

Le prove saranno eseguite, salvo diversa indicazione, in accordo agli standard di prova indicati. L'eventuale esecuzione delle prove secondo standard o normative alternative a quelle indicate nelle presenti norme tecniche dovrà in ogni caso essere preventivamente autorizzato dalla direzione dei lavori. In ogni caso la normativa di riferimento seguita per l'esecuzione delle prove dovrà essere indicata nel rapporto di prova.

Documentazione da fornire

Alla consegna dei certificati di prova dovrà essere fornita anche una sintesi che riporterà i risultati principali ottenuti dalle singole prove.

Tale sintesi, espressa in un quadro riepilogativo generale, dovrà contenere:

- la sigla identificativa del campione e la profondità di prelievo
- le percentuali delle diverse frazioni granulometriche
- i valori dei limiti di consistenza e dell'indice di plasticità
- le classificazioni AGI, USCS e CNR-UNI 10006
- il contenuto d'acqua e il peso di volume naturale
- i valori ottenuti dalle prove di taglio diretto
- i valori di modulo edometrico, permeabilità, coefficiente di consolidazione verticale e coefficiente di consolidazione secondaria per una determinata pressione di riferimento.

Il rapporto finale di ciascuna prova dovrà comprendere almeno le seguenti informazioni:

- il nome e l'indirizzo del laboratorio di prova

- l'identificazione univoca del rapporto di prova, di ciascuna sua pagina e del numero totale delle pagine
 - il nome ed indirizzo del committente
 - l'identificazione dei campioni
 - la data di ricevimento dei campioni e la data di prova
 - lo standard di riferimento seguito per l'esecuzione delle prove
 - tutte le misure, gli esami e i loro risultati, corredati di tabelle, grafici, disegni e fotografie e tutte le anomalie individuate
 - la firma del responsabile del rapporto di prova e la data di emissione.
- I risultati di tutti i calcoli e le determinazioni eseguite dovranno essere espressi in opportune unità SI, con relative multipli o sottomultipli.

Subappalto

Non è consentito, salvo diverse prescrizioni, l'affidamento dell'esecuzione delle prove di laboratorio ad un laboratorio diverso da quello indicato dall'operatore economico, il quale, preventivamente all'inizio dei lavori di indagine geognostica, dovrà comunicarne il nominativo al RUP. È consentito l'affidamento ad un laboratorio esterno di prove particolarmente sofisticate, non routinarie, e per le quali il laboratorio non sia adeguatamente attrezzato, solo previa autorizzazione del RUP.

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

Art. 2.2 - Trasporto apertura e descrizione dei campioni in roccia

Il trasporto del campione di carota lapidea e/o strati cementati prelevato nel corso di sondaggi geotecnici, contenuto in involucro rigido di protezione e immerso in paraffina, dal sito di prelievo al laboratorio dovrà avvenire con idoneo imballaggio atto ad evitare durante il trasporto lesioni o rotture dei campioni ed in generale qualsiasi variazione del loro stato. Una volta pervenuti in laboratorio si dovrà procedere secondo quanto previsto al precedente art. 2.1

La descrizione preliminare dei campioni dovrà comprendere un'esauriente descrizione geologica del materiale con indicazione di litologia, colore, grado di alterazione, struttura e tessitura, completata da un giudizio sintetico sulla qualità del campione in relazione alle prove previste; in caso di struttura granulare, dovrà essere specificata la granulometria prevalente. La descrizione dovrà essere completata da una documentazione fotografica del campione, in cui compaiano una scala metrica ed una scala colorimetrica di riferimento. Tutte le osservazioni condotte dovranno essere riassunte in un apposito modulo descrittivo.

Art. 2.3 - Trasporto apertura e descrizione dei campioni di calcestruzzo

Il trasporto del campione di carota di calcestruzzo prelevati nel corso di sondaggi geotecnici dal sito di prelievo al laboratorio dovrà avvenire con idoneo imballaggio atto ad evitare durante il trasporto lesioni o rotture dei campioni ed in generale qualsiasi variazione del loro stato. Una volta pervenuti in laboratorio si dovrà procedere secondo quanto previsto al precedente art. 2.1.

La descrizione preliminare dei campioni dovrà comprendere una descrizione del materiale con indicazione del colore, del grado di alterazione, struttura e tessitura, completata da un giudizio sintetico sulla qualità del campione in relazione alle prove previste. La descrizione dovrà essere completata da una documentazione fotografica del campione, in cui compaiano una scala metrica ed una scala colorimetrica di riferimento. Tutte le osservazioni condotte dovranno essere riassunte in un apposito modulo descrittivo.

Art. 2.4 - Determinazione delle caratteristiche fisiche dei campioni di roccia

Art. 2.4.1 Determinazione del contenuto naturale d'acqua

La prova consiste nella determinazione del contenuto d'acqua di un campione di roccia in condizioni naturali.

Normative e specifiche di riferimento:

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 1 - Suggested method for determination of the water content of a rock sample.

Modalità di prova

La determinazione del contenuto naturale d'acqua dovrà essere eseguita su almeno 10 frammenti lapidei di massa non inferiore a 50 g e di dimensioni minime non inferiori a 10 volte il diametro massimo dei grani costituenti il materiale in esame, sottoposti ad essiccazione in forno termostato a 105 °C fino a massa costante. Il contenuto naturale d'acqua sarà espresso in percentuale rispetto alla massa del campione secco, con indicazione della prima cifra decimale.

Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- numero, dimensione e massa dei provini esaminati;
- dimensioni massime dei grani;
- valore percentuale del contenuto naturale d'acqua;
- documentazione di tutte le misure effettuate;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo, non anteriore di sei mesi la data di prova (bilancia, termostato).

Per le generiche indicazioni sulla documentazione da consegnare e per le modalità di consegna vedi l'art. 1.10 del presente disciplinare.

Art. 2.4.2 Determinazione della massa volumica apparente (peso di volume naturale) su provini di forma regolare

La prova consiste nella determinazione del rapporto tra la massa totale di un campione di roccia ed il suo volume.

Normative e specifiche di riferimento:

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.

Modalità di prova

La determinazione dovrà essere condotta su un provino cilindrico di forma regolare, preparato in accordo allo standard ASTM D 4543 - 85 (91) - Standard Practice for Preparing Rock Core Specimens and Determining Dimensional and Shape Tolerances - avente dimensioni minime non inferiori a 10 volte il diametro massimo dei grani costituenti il materiale in esame. La determinazione del volume del campione dovrà essere eseguita a mezzo di un calibro centesimale, mentre la determinazione della massa sarà eseguita con bilancia centesimale.

Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- identificazione completa del campione sottoposto a prova;

- valore della massa volumica apparente espressa in Mg/m³ con indicazione della seconda cifra decimale;
- documentazione di tutte le misure effettuate;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo, non antecedente di sei mesi la data di prova (bilancia).

Per le generiche indicazioni sulla documentazione da consegnare e per le modalità di consegna vedi l'art. 1.10 del presente disciplinare.

Art. 2.4.3 Determinazione della massa volumica apparente (peso di volume naturale) su provini di forma irregolare di rocce non sensibili all'immersione in acqua

La prova consiste nella determinazione del rapporto tra la massa totale di un campione di roccia ed il suo volume.

Normative e specifiche di riferimento:

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 3 - Suggested method for porosity/density determination using saturation and buoyancy techniques.

Modalità di prova

La determinazione dovrà essere condotta su almeno 10 frammenti lapidei, aventi massa non inferiore a 50 g e dimensioni minime non inferiori a 10 volte il diametro massimo dei grani costituenti il materiale in esame. Il volume del campione dovrà essere determinato dalla differenza tra la massa dopo saturazione in acqua con applicazione di vuoto non superiore a 800 Pa (6 mm Hg) e la massa satura sommersa, determinata a mezzo pesata idrostatica, rapportata alla densità dell'acqua. La massa del campione sarà determinata con bilancia centesimale.

Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- numero e massa dei provini;
- valore medio della massa volumica apparente espressa in Mg/m³, con indicazione della seconda cifra decimale, deviazione standard e coefficiente di variazione dei dati;
- documentazione di tutte le misure effettuate;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo, non antecedente di sei mesi la data di prova (bilancia, manometro).

Per le generiche indicazioni sulla documentazione da consegnare e per le modalità di consegna vedi l'art. 9 del presente disciplinare.

Art. 2.4.4 Determinazione della massa volumica apparente (peso di volume naturale) su provini di forma irregolare di rocce sensibili all'immersione in acqua

La prova consiste nella determinazione del rapporto tra la massa totale di un campione di roccia ed il suo volume.

Normative e specifiche di riferimento:

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 4 - Suggested method for porosity/density determination using mercury displacement and grain specific gravity techniques.

Modalità di prova

La determinazione dovrà essere condotta su almeno 10 frammenti lapidei, aventi massa non inferiore a 50 g e dimensioni minime non inferiori a 10 volte il diametro massimo dei grani costituenti il materiale in esame.

Il volume di ciascun frammento dovrà essere determinato a mezzo spostamento di mercurio, mentre per la determinazione della massa si impiegherà una comune bilancia centesimale.

Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- numero e massa dei provini esaminati;
- valore medio della massa volumica apparente espressa in Mg/m³ con indicazione della seconda cifra decimale, deviazione standard e coefficiente di variazione dei dati;
- documentazione di tutte le misure effettuate;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo, non antecedente di sei mesi la data di prova (bilancia, termostato, manometro).

Per le generiche indicazioni sulla documentazione da consegnare e per le modalità di consegna vedi l'art. 9 del presente disciplinare.

Art. 2.4.5 Determinazione della porosità su provini di forma regolare di rocce non sensibili all'immersione in acqua

La prova consiste nella determinazione del rapporto tra il volume dei vuoti ed il volume totale di un campione di roccia.

Normative e specifiche di riferimento

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.

Modalità di prova

La determinazione dovrà essere condotta su almeno tre provini cilindrici di forma regolare, preparati in accordo allo standard ASTM D 4543-85 (91) - Standard Practice for Preparing Rock Core Specimens and Determining Dimensional and Shape Tolerances - aventi dimensioni minime non inferiori a 10 volte il diametro massimo dei grani costituenti il materiale in esame.

La determinazione del volume dei vuoti sarà ottenuta per differenza tra la massa del provino saturato in acqua con applicazione di vuoto non superiore a 800 Pa (6 mm Hg) per almeno 1 ora e la massa del provino essiccato in forno termostato a 105 °C fino a massa costante rapportata alla densità dell'acqua. La determinazione del volume del campione dovrà essere eseguita a mezzo di un calibro centesimale.

Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- numero, dimensione e massa dei provini esaminati;
- valore percentuale medio della porosità espresso con una cifra decimale;
- documentazione di tutte le misure effettuate;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo, non antecedente di sei mesi la data di prova (bilancia, termostato, manometro).

Per le generiche indicazioni sulla documentazione da consegnare e per le modalità di consegna vedi l'art. 1.10 del presente disciplinare.

Art. 2.4.6 Determinazione della porosità su provini di forma irregolare di rocce non sensibili all'immersione in acqua

La prova consiste nella determinazione del rapporto tra il volume dei vuoti ed il volume totale di un campione di roccia.

Normative e specifiche di riferimento:

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 3 - Suggested method for porosity/density determination using saturation and buoyancy techniques.

Modalità di prova

La determinazione dovrà essere condotta su almeno 10 frammenti lapidei, aventi massa non inferiore a 50 g e dimensioni minime non inferiori a 10 volte il diametro massimo dei grani costituenti il materiale in esame.

La determinazione del volume dei vuoti sarà ottenuta per differenza tra la massa del provino saturato in acqua con applicazione di vuoto non superiore a 800 Pa per almeno 1 ora e la massa del provino essiccato in forno termostato a 105 °C fino a massa costante rapportata alla densità dell'acqua.

Il volume del campione dovrà essere determinato dalla differenza tra la massa dopo saturazione in acqua con applicazione di vuoto non superiore a 800 Pa (6 mm Hg) e la massa satura sommersa, ottenuta con pesata idrostatica, rapportata alla densità dell'acqua.

Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- numero e massa dei provini esaminati;
- valore percentuale medio della porosità espresso con una cifra decimale, deviazione standard e coefficiente di variazione dei dati;
- documentazione di tutte le misure effettuate;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo, non antecedente di sei mesi la data di prova (bilancia).

Per le generiche indicazioni sulla documentazione da consegnare e per le modalità di consegna vedi l'art. 1.10 del presente disciplinare.

Art. 2.4.7 Determinazione della porosità su provini di forma irregolare di rocce sensibili all'immersione in acqua

La prova consiste nella determinazione del rapporto tra il volume dei vuoti ed il volume totale di un campione di roccia.

Normative e specifiche di riferimento:

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 4 - Suggested method for porosity/density determination using mercury displacement and grain specific gravity techniques.

Modalità di prova

La determinazione dovrà essere condotta su almeno 10 frammenti lapidei, aventi massa non inferiore a 50 g e dimensioni minime non inferiori a 10 volte il diametro massimo dei grani costituenti il materiale in esame.

Il volume di ciascun frammento dovrà essere determinato a mezzo spostamento di mercurio, mentre per la determinazione della massa si impiegherà una comune bilancia centesimale.

La porosità dovrà essere ottenuta come differenza tra il peso specifico dei grani e la densità secca rapportata alla densità secca ed espressa in percentuale con indicazione della prima cifra decimale.

Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- numero e massa dei provini esaminati;
- valore medio della porosità percentuale con indicazione della prima cifra decimale, deviazione standard e coefficiente di variazione dei dati;
- documentazione di tutte le misure effettuate;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo, non antecedente di sei mesi la data di prova (bilancia, termostato).

Per le generiche indicazioni sulla documentazione da consegnare e per le modalità di consegna vedi l'art. 1.10 del presente disciplinare.

Art. 2.4.8 Determinazione della massa volumica reale (peso specifico dei grani)

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

Normative e specifiche di riferimento:

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 4 - Suggested method for porosity/density determination using mercury displacement and grain specific gravity techniques.

Modalità di prova

Il peso specifico dei grani dovrà essere ottenuto come valore medio di due determinazioni eseguite col metodo del picnometro calibrato su materiale omogeneo ottenuto dalla macinazione e polverizzazione al diametro massimo di 150 µm del campione da analizzare.

Per l'eliminazione dell'aria intrappolata si dovrà impiegare una pompa per vuoto con pressione non superiore a 13 kPa (100 mm Hg).

Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- quantità di materiale analizzato;
- risultato delle due determinazioni eseguite espresso in Mg/m³ con indicazione di due cifre decimali;
- valore medio del peso specifico dei grani;
- documentazione delle misure effettuate;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo impiegati (bilancia, manometro), non antecedente di sei mesi la data di prova.

Per le generiche indicazioni sulla documentazione da consegnare e per le modalità di consegna vedi l'art. 1.10 del presente disciplinare.

Art. 2.5 - Misura della velocità delle onde P e S

La prova consiste nella misura della velocità di propagazione in direzione assiale delle onde elastiche longitudinali P e di taglio S in provini regolari di roccia sia in condizioni asciutte sia in condizioni di saturazione controllata e nella successiva determinazione delle relative costanti elastiche dinamiche.

Normative e specifiche di riferimento:

ASTM D 2845 - 90 - Standard Test Method for Laboratory Determination of Pulse Velocities and Ultrasonic Elastic Constants of Rock

Modalità di prova

La determinazione della velocità di propagazione delle onde longitudinali P e di taglio S sarà condotta sia in condizioni asciutte sia in condizioni di saturazione controllata, su provini cilindrici rettificati e con facce piane e parallele perpendicolari all'asse del provino, preparati in accordo allo standard ASTM D 4543-85 (91) - Standard Practice for Preparing Rock Core Specimens and Determining Dimensional and Shape 4543-85 Tolerances. In particolare le facce laterali del provino, su cui dovranno essere posizionati gli elementi trasmettenti e ricevitori, dovranno essere sottoposte a lappatura al fine di ottenere superfici perfettamente piane, con una tolleranza non superiore a 25 µm.

Il provino da impiegare dovrà avere un rapporto altezza/diametro compreso tra 1 e 5, mentre il diametro del provino sottoposto a prova e la frequenza di risonanza del trasduttore impiegato dovranno soddisfare la seguente condizione:

$$D \geq 5 \cdot \frac{V_p}{f} \geq 15 \cdot d$$

dove:

D = diametro del provino [m]

V_p = velocità di propagazione delle onde di compressione [m/s]

f = frequenza di risonanza del trasduttore [Hz]

d = diametro medio dei grani costituenti il materiale in esame [m]

Particolare cura dovrà essere posta nell'accoppiamento degli elementi trasmettenti e ricevitori, interponendo, tra essi e le facce del provino, un sottile strato di adesivo conduttivo e impiegando una leggera pressione di serraggio (non superiore a 100 kPa).

La determinazione dei tempi di arrivo delle onde elastiche dovrà essere condotta con precisione non inferiore all'1% per le onde di compressione e al 2% per le onde di taglio. La prova dovrà comprendere la determinazione della massa volumica apparente del provino esaminato, da impiegarsi per il calcolo delle costanti elastiche dinamiche.

Calcolo delle costanti elastiche

Le costanti elastiche del materiale in esame dovrà essere determinato in accordo alle seguenti espressioni:

$$E = \frac{\gamma V_s^2 (3V_p^2 - 4V_s^2)}{V_p^2 - V_s^2}$$

$$S = \gamma V_s^2$$

$$K = \frac{\gamma (3V_p^2 - 4V_s^2)}{3}$$

$$\mu = \frac{3V_p^2 - 2V_s^2}{2(V_p^2 - V_s^2)}$$

dove:

E = modulo di Young

G = modulo di taglio

K = modulo volumetrico

μ = rapporto di Poisson

γ = peso di volume

V_p = velocità di propagazione delle onde di compressione

V_s = velocità di propagazione delle onde di taglio.

Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- dimensioni del provino esaminato;
- peso di volume del provino esaminato;

- carico di serraggio e mezzo di accoppiamento impiegato;
- tabella riassuntiva con l'indicazione di tutti i valori registrati nel corso della prova;
- valori della velocità di propagazione delle onde compressionali V_p e di taglio V_s ;
- valori delle costanti elastiche dinamiche calcolate (modulo di Young E , modulo di taglio G , modulo volumetrico K , rapporto di Poisson μ);
- documentazione delle misure effettuate;
- copia del certificato di taratura della strumentazione, non antecedente di sei mesi la data di prova.

Per le generiche indicazioni sulla documentazione da consegnare e per le modalità di consegna vedi l'art. 1.10 del presente disciplinare.

Art. 2.6 - Prova di compressione monoassiale con rilievo del solo carico di rottura su campioni di roccia

La prova consiste nella determinazione della resistenza a compressione monoassiale di un campione di roccia.

Normative e specifiche di riferimento:

ASTM D 2938 - 95 - Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Intact Rock Core Specimens.

Modalità di prova

La prova dovrà essere eseguita su provini cilindrici ottenuti con operazioni di carotaggio, taglio e rettifica da spezzoni di carota o da campioni di forma irregolare in accordo allo standard ASTM D 4543 - 85 (91) - Standard Practice for Preparing Rock Core Specimens and Determining Dimensional and Shape Tolerances.

I provini dovranno avere diametro non inferiore a 10 volte la dimensione massima dei grani costituenti la roccia e comunque non inferiori a 56 mm, con rapporto altezza/diametro compreso tra 2 e 3. La superficie laterale dei provini dovrà essere liscia e priva di irregolarità superiori a 0.5 mm; le facce laterali dovranno essere perpendicolari all'asse del provino, con tolleranza massima di 0.25°, e lappate con una tolleranza non superiore a 25 μ m. Il provino così preparato dovrà essere portato a rottura impiegando una pressa di carico idraulica di adeguata rigidità e capacità di carico, in ogni caso non inferiore a 1500 kN, dotata di un giunto sferico sul piatto superiore.

Il sistema per il rilevamento e la lettura del carico assiale applicato dovrà essere costituito da una coppia di manometri o, preferibilmente, da un trasduttore di pressione, posizionati sulla linea idraulica di alimentazione della pressa, in grado comunque di assicurare una precisione di lettura non inferiore a 1 kN.

La rottura del provino dovrà essere raggiunta incrementando il carico applicato con continuità; la velocità di incremento del carico dovrà essere scelta in modo che il campione giunga a rottura in un tempo compreso tra 2 e 15 min. In particolare si ritengono adeguate velocità di applicazione del carico comprese tra 200 e 400 kPa/s. La velocità di carico prescelta dovrà essere mantenuta costante per tutta la prova, con una variazione massima non superiore al 10%.

Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- descrizione litologica del campione;
- indicazione della direzione dell'applicazione di carico rispetto alla struttura del campione;
- dimensioni del provino e tolleranze geometriche;
- velocità di incremento del carico;
- descrizione e schizzo del tipo di rottura;
- valore della resistenza a compressione monoassiale;
- documentazione di tutte le misure eseguite;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo (comparatori, manometri, trasduttori di pressione), non antecedente di sei mesi la data di prova.

Per le generiche indicazioni sulla documentazione da consegnare e per le modalità di consegna vedi l'art. 1.10 del presente disciplinare.

Art. 2.7 - Prove di compressione monoassiale con rilievo delle deformazioni assiali e diametrali e calcolo delle costanti elastiche su campioni di roccia

La prova consiste nella determinazione della resistenza a compressione monoassiale di un campione di roccia, con rilievo delle deformazioni assiali e diametrali e determinazione delle costanti elastiche statiche del materiale in esame.

Normative e specifiche di riferimento:

ASTM D 3148 - 93 - Standard Test Method for Elastic Moduli of Intact Rock Core Specimens in Uniaxial Compression

Modalità di prova

La prova dovrà essere eseguita su provini cilindrici ottenuti con operazioni di carotaggio, taglio e rettifica da spezzoni di carota o da campioni di forma irregolare in accordo allo standard ASTM D 4543 - 85 (91) - Standard Practice for Preparing Rock Core Specimens and Determining Dimensional and Shape Tolerances.

I provini dovranno avere diametro non inferiore a 10 volte la dimensione massima dei grani costituenti la roccia e comunque non inferiori a 56 mm, con rapporto altezza diametro compreso tra 2 e 3. La superficie laterale dei provini dovrà essere liscia e priva di irregolarità superiori a 0.5 mm; le facce laterali dovranno essere perpendicolari all'asse del provino, con tolleranza massima di 0.25°, e lappate con una tolleranza non superiore a 25 µm.

L'attrezzatura di prova dovrà comprendere un sistema per la misura delle deformazioni assiali e diametrali del provino, che dovrà in ogni caso garantire una precisione di almeno 5 µε, costituito da estensimetri elettrici (strain gages), almeno quattro, applicati direttamente alla superficie laterale del provino; particolare cura dovrà essere posta nell'accoppiamento tra essi e le superfici laterali del provino, che dovranno essere preventivamente trattate al fine di garantire un perfetto incollaggio.

Le deformazioni assiali dovranno essere ottenute come media delle misure rilevate con due estensimetri diametralmente opposti e su lunghezze non inferiori a 10 volte la dimensione media dei grani costituenti la roccia. Per le deformazioni diametrali si potranno adottare due estensimetri diametralmente opposti di lunghezza non inferiore a 10 volte la dimensione media dei grani costituenti la roccia o, in alternativa, un unico estensimetro che copra l'intero diametro del provino. In alternativa agli estensimetri elettrici è consentito l'utilizzo di qualsiasi altro sistema che soddisfi comunque i prescritti requisiti di precisione.

Il provino così preparato dovrà essere portato a rottura impiegando una pressa di carico idraulica di adeguata rigidità e capacità di carico, in ogni caso non inferiore a 1.500 kN, dotata di un giunto sferico sul piatto superiore. Il sistema per il rilevamento e la lettura del carico assiale applicato dovrà essere costituito da un traduttore di pressione, posizionato sulla linea idraulica di alimentazione della pressa, in grado di assicurare una precisione di lettura non inferiore a 1 kN.

La rottura del provino dovrà essere raggiunta incrementando il carico applicato con continuità; la velocità di incremento del carico dovrà essere scelta in modo che il campione giunga a rottura in un tempo compreso tra 2 e 15 min. In particolare si ritengono adeguate velocità di applicazione del carico comprese tra 200 e 400 kPa/s. La velocità di carico prescelta dovrà essere mantenuta costante per tutta la prova, con una variazione massima non superiore al 10%.

Durante tutta la prova si dovranno registrare i valori di carico assiale applicato, deformazione assiale e deformazione diametrale in numero sufficiente a descrivere compiutamente l'intera prova. Al termine della prova si procederà al calcolo del modulo elastico tangente e secante al 50% del carico di rottura e del relativo coefficiente di Poisson.

Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- identificazione completa del campione sottoposto a prova;

- descrizione litologica del campione;
- indicazione della direzione dell'applicazione di carico rispetto alla struttura del campione;
- dimensioni del provino e tolleranze geometriche;
- velocità di incremento del carico;
- descrizione e schizzo del tipo di rottura;
- tabella con i valori di carico assiale, deformazione assiale e deformazione diametrale acquisiti durante la prova;
- grafico carico assiale - deformazione assiale e diametrale;
- valore della resistenza a compressione monoassiale;
- valore del modulo elastico tangente al 50% del carico di rottura E_{t50} ;
- valore del modulo elastico secante al 50% del carico di rottura E_{s50} ;
- valore del coefficiente di Poisson al 50% del carico di rottura μ ;
- documentazione di tutte le misure eseguite;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo (comparatori centesimali, trasduttore di pressione), non antecedente di sei mesi la data di prova.

Per le generiche indicazioni sulla documentazione da consegnare e per le modalità di consegna vedi l'art. 1.10 del presente disciplinare.

Art. 2.8 - Prova di compressione triassiale in controllo di deformazione con rilievo delle deformazioni assiali e diametrali anche nella fase post-rottura su campioni di roccia

La prova di compressione triassiale in controllo di deformazione con rilievo delle deformazioni assiali e diametrali consiste nella determinazione dell'involuppo di rottura di picco residuo e dei parametri elastici di deformabilità di campioni omogenei di roccia. Tenuto conto della curvatura che caratterizza l'involuppo di rottura delle rocce, una sua completa e corretta definizione può essere ottenuta sottoponendo a prova un numero adeguato di provini omogenei in diverse condizioni di confinamento laterale (almeno 3 diversi valori della pressione di confinamento).

A scelta del RUP o di persona da lui delegata potrà, in deroga a quanto prescritto dallo standard ISRM di riferimento, che prevede l'esecuzione di prove multistage con variazione della pressione di confinamento su di un unico provino, la prova potrà essere condotta su diversi provini con pressione di confinamento costante per ciascun provino.

Normative e specifiche di riferimento:

ISRM - Commission on standardization of laboratory and field tests - Suggested Methods for Determining the Strength of Rock Materials in Triaxial Compression : revised version (1983) - Procedure type II - multiple failure state test.

Modalità di prova

La prova dovrà essere eseguita su provini cilindrici ottenuti con operazioni di carotaggio, taglio e rettifica da spezzoni di carota o da campioni di forma irregolare in accordo allo standard ASTM D 4543 - 85 (91) - Standard Practice for Preparing Rock Core Specimens and Determining Dimensional and Shape Tolerances.

I provini dovranno avere diametro non inferiore a 10 volte la dimensione massima dei grani costituenti la roccia e comunque non inferiori a 56 mm, con rapporto altezza diametro compreso tra 2 e 3. La superficie laterale dei provini dovrà essere liscia e priva di irregolarità superiori a 0.5 mm; le facce laterali dovranno essere perpendicolari all'asse del provino, con tolleranza massima di 0.25°, e lappate con una tolleranza non superiore a 25 μ m.

L'attrezzatura di prova dovrà comprendere un sistema per la misura delle deformazioni assiali e diametrali del provino, che dovrà in ogni caso garantire una precisione di almeno 5 μ ε. I provini dovranno essere alloggiati in una cella triassiale per l'applicazione della pressione di confinamento e portati a rottura impiegando una pressa di carico idraulica di adeguata rigidità e capacità di carico, in ogni caso non inferiore a 1.500 kN, dotata di un giunto sferico sul piatto superiore.

Il sistema per l'applicazione della pressione di confinamento dovrà essere costituito da un sistema servocontrollato in grado di mantenere costante la pressione applicata per tutta la durata della

prova, e di capacità non inferiore a 70 MPa. Il sistema per il rilevamento e la lettura del carico assiale applicato dovrà essere costituito da un trasduttore di pressione posizionato sulla linea idraulica di alimentazione della pressa, in grado di assicurare una precisione di lettura non inferiore a 1 kN. Il sistema per il rilevamento e la lettura della pressione di confinamento applicata dovrà essere costituito da un trasduttore di pressione, con precisione in ogni caso non inferiore a 0.1 MPa.

La rottura dei provini dovrà essere raggiunta incrementando il carico assiale in modo da avere per tutta la durata della prova una velocità di deformazione assiale compresa tra 10-2 e 10-5 ε/s; a tale scopo l'attrezzatura di prova dovrà comprendere un sistema di servocontrollo digitale che regoli la velocità di applicazione del carico in funzione della deformazione assiale misurata.

La prova dovrà essere protratta anche nella fase post-rottura, decrementando il carico assiale con la medesima velocità di deformazione, fino a deformazioni tali da consentire la determinazione della resistenza residua e comunque non inferiori al 3%. Durante tutta la prova si dovranno registrare i valori di carico assiale applicato, deformazione assiale e deformazione diametrale in numero sufficiente a descrivere compiutamente l'intera prova. Si dovrà inoltre registrare il valore della pressione di confinamento al fine di controllarne la stabilità.

Al termine della prova, si procederà al calcolo del modulo elastico tangente e secante al 50% del carico di rottura e del relativo coefficiente di Poisson di ciascun provino. Al termine della serie di prove si dovrà procedere alla determinazione dei parametri dell'involuppo di rottura di picco e residuo della roccia in esame, impiegando il criterio di rottura non lineare di Hoek & Brown, espresso nel piano σ_1/σ_3 nella forma:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + (m_i c_0 \sigma_3 + c_0^2)^{0.5}$$

e nel piano σ/τ nella forma:

$$\tau = A \cdot c_0 (\sigma/c_0 - T)^B$$

σ_1 = tensione assiale di rottura (sforzo principale maggiore)

σ_3 = tensione di confinamento (sforzo principale minore)

m_i = parametro dell'involuppo di rottura nel piano σ_1/σ_3 , dipendente dalla natura litologica del campione

C_0 = resistenza a compressione monoassiale

m = sforzo di taglio

σ = sforzo normale

A, B, T = parametri dell'involuppo di rottura nel piano σ/τ

Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- identificazione completa del campione e dei provini sottoposti a prova;
- descrizione litologica del campione;
- indicazione della direzione dell'applicazione di carico rispetto alla struttura del campione;
- dimensioni dei provini e tolleranze geometriche;
- velocità di deformazione adottata;
- descrizione e schizzo del tipo di rottura di ciascun provino;
- tabella con i valori di carico assiale, deformazione assiale e deformazione laterale acquisiti durante la prova per ciascun provino;
- grafico carico assiale - deformazione assiale e diametrale per ciascun provino;
- tabella con i valori di pressione di confinamento σ_3 , resistenza di picco e resistenza residua di ciascun provino;
- tabella con i valori del modulo elastico tangente al 50% del carico di rottura E_{t50} , del modulo elastico secante al 50% del carico di rottura E_{s50} e del coefficiente di Poisson al 50% del carico di rottura ν per ciascun provino;
- diagramma σ_1/σ_3 con tracciamento degli involuppi di rottura di picco e residuo calcolati e di tutti i punti di prova;
- diagramma σ/τ con tracciamento degli involuppi di rottura di picco e residuo calcolati e dei cerchi di Mohr relativi alle prove eseguite;

- valore della resistenza a compressione C_o calcolata;
- valore del parametro m_i dell'involuppo di rottura di picco nel piano σ_1/σ_3 ;
- valore dei parametri A, B e T dell'involuppo di rottura di picco nel piano σ/τ ;
- valore del parametro m_i dell'involuppo di rottura residuo nel piano σ_1/σ_3 ;
- valore dei parametri A, B e T dell'involuppo di rottura residuo nel piano σ/τ ;
- documentazione di tutte le misure eseguite;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo (comparatori centesimali, trasduttori di pressione, trasduttori di spostamento), non antecedente di sei mesi la data di prova.

Per le generiche indicazioni sulla documentazione da consegnare e per le modalità di consegna vedi l'art. 1.10 del presente disciplinare.

Art. 2.9 - Prova di trazione indiretta (brasiliiana) su campioni di roccia

La prova consente la determinazione indiretta della resistenza a trazione di un campione di roccia sottoposto a sollecitazione di carico monoassiale.

Normative e specifiche di riferimento:

ASTM D 3967 - 95 - Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Intact Rock Core Specimens

Modalità di prova

La prova dovrà essere condotta su provini cilindrici ottenuti con operazioni di taglio e rettifica a partire da spezzoni di carota aventi diametro non inferiore a 56 mm e rapporto spessore/diametro compreso tra 0.2 e 0.75. La superficie laterale dei provini dovrà essere liscia e con una rettilineità non inferiore a 0.5 mm. Le facce terminali dovranno essere parallele tra di loro e perpendicolari all'asse del provino con tolleranza massima di 0.5°.

I provini così preparati dovranno essere portati a rottura posizionandoli diametralmente sulla piastra di carico di una pressa di carico di adeguata rigidità e capacità e dotata di snodo sferico sulla piastra di contrasto superiore. Tenuto conto che la rottura avviene generalmente in modo violento la pressa di carico dovrà essere dotata di un sistema di memorizzazione del carico massimo raggiunto.

Il carico assiale dovrà essere incrementato con gradualità, adottando un gradiente di carico tale da produrre la rottura in un tempo compreso tra 1 e 10 minuti. Per ogni provino sottoposto a prova si dovrà determinare la resistenza a trazione indiretta σ_t attraverso la seguente relazione:

$$\sigma_t = \frac{2P}{\pi LD}$$

σ_t = resistenza a trazione indiretta [MPa]

P = carico di rottura [N]

L = spessore del provino [mm]

D = diametro del provino [mm]

La prova dovrà poi essere completata con la determinazione del valore medio della resistenza a trazione indiretta, della deviazione standard e del coefficiente di variazione dei valori determinati.

Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- descrizione litologica del campione;
- dimensioni dei provini sottoposti a prova e tolleranze geometriche;
- tabella con i valori del carico di rottura rilevato e della resistenza a trazione calcolata per ciascun provino;

- valore medio della resistenza a trazione indiretta, deviazione standard e coefficiente di variazione;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo (comparatori centesimali, manometri, trasduttori di pressione), non antecedente di sei mesi la data di prova.

Per le generiche indicazioni sulla documentazione da consegnare e per le modalità di consegna vedi l'art. 1.10 del presente disciplinare.

Art. 2.10 - Determinazione delle caratteristiche fisiche dei campioni di calcestruzzo

Art. 2.10.1 Determinazione della massa volumica del calcestruzzo indurito

La prova consiste nella determinazione della massa volumica del calcestruzzo indurito.

Normative e specifiche di riferimento:

UNI EN 12390-7 (Massa volumica del calcestruzzo indurito) UNI EN 12390-1 (Conformità dimensionale per provini e per casseforme)

Modalità di prova

La determinazione dovrà essere condotta su un provino cilindrico di forma regolare, preparato in accordo per quanto possibile allo standard UNI EN 12390-1 (Conformità dimensionale per provini e per casseforme). La determinazione del volume del campione dovrà essere eseguita a mezzo di un calibro centesimale, mentre la determinazione della massa sarà eseguita con bilancia centesimale.

Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- valore della massa volumica apparente espressa in Mg/m^3 con indicazione della seconda cifra decimale;
- documentazione di tutte le misure effettuate;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo, non antecedente di sei mesi la data di prova (bilancia).

Per le generiche indicazioni sulla documentazione da consegnare e per le modalità di consegna vedi l'art. 1.10 del presente disciplinare.

Art. 2.11 - Prova di compressione monoassiale con rilievo del solo carico di rottura su campioni di calcestruzzo

La prova consiste nella determinazione della resistenza a compressione monoassiale di un campione di calcestruzzo.

Normative e specifiche di riferimento:

UNI EN 12390-3 (Prova sul calcestruzzo indurito – Resistenza alla compressione dei provini) UNI EN 12390-1 (Conformità dimensionale per provini e per casseforme)

Modalità di prova

La prova dovrà essere eseguita su provini cilindrici ottenuti con operazioni di carotaggio, taglio e rettifica da spezzoni di carota o da campioni di forma irregolare in accordo per quanto possibile allo standard UNI EN 12390-1 (Conformità dimensionale per provini e per casseforme).

Il sistema per il rilevamento e la lettura del carico assiale applicato dovrà essere costituito da una coppia di manometri o, preferibilmente, da un trasduttore di pressione, posizionati sulla linea idraulica di alimentazione della pressa, in grado comunque di assicurare una precisione di lettura non inferiore a 1 kN.

La rottura del provino dovrà essere raggiunta incrementando il carico applicato con continuità; la velocità di incremento del carico dovrà essere scelta in modo che il campione giunga a rottura in un tempo compreso tra 2 e 15 min. In particolare si ritengono adeguate velocità di applicazione del carico comprese tra 200 e 400 kPa/s. La velocità di carico prescelta dovrà essere mantenuta costante per tutta la prova, con una variazione massima non superiore al 10%.

Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- descrizione del campione;
- indicazione della direzione dell'applicazione di carico rispetto alla struttura del campione;
- dimensioni del provino e tolleranze geometriche;
- velocità di incremento del carico;
- descrizione e schizzo del tipo di rottura;
- valore della resistenza a compressione monoassiale;
- documentazione di tutte le misure eseguite;
- copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo (comparatori, manometri, trasduttori di pressione), non antecedente di sei mesi la data di prova.

Per le generiche indicazioni sulla documentazione da consegnare e per le modalità di consegna vedi l'art. 1.10 del presente disciplinare.

Art. 2.12 - Prova di trazione indiretta (Brasiliana) su campioni di calcestruzzo

La prova consente la determinazione indiretta della resistenza a trazione di un campione di calcestruzzo sottoposto a sollecitazione di carico monoassiale.

Normative e specifiche di riferimento:

UNI EN 12390-6 (Prove sul calcestruzzo indurito – Resistenza a trazione indiretta dei provini) UNI EN 12390-1 (Conformità dimensionale per provini e per casseforme)

Modalità di prova

La prova dovrà essere eseguita su provini cilindrici ottenuti con operazioni di carotaggio, taglio e rettifica da spezzoni di carota o da campioni di forma irregolare in accordo per quanto possibile allo standard UNI EN 12390-1 (Conformità dimensionale per provini e per casseforme).

I provini così preparati dovranno essere portati a rottura posizionandoli diametralmente sulla piastra di carico di una pressa di carico di adeguata rigidità e capacità e dotata di snodo sferico sulla piastra di contrasto superiore. Tenuto conto che la rottura avviene generalmente in modo violento la pressa di carico dovrà essere dotata di un sistema di memorizzazione del carico massimo raggiunto.

Il carico assiale dovrà essere incrementato con gradualità, adottando un gradiente di carico tale da produrre la rottura in un tempo compreso tra 1 e 10 minuti. Per ogni provino sottoposto a prova si dovrà determinare la resistenza a trazione indiretta σ_t attraverso la seguente relazione:

$$\sigma_t = \frac{2P}{\pi LD}$$

σ_t = resistenza a trazione indiretta [MPa]

P = carico di rottura [N]

L = spessore del provino [mm]

D = diametro del provino [mm]

La prova dovrà poi essere completata con la determinazione del valore medio della resistenza a trazione indiretta, della deviazione standard e del coefficiente di variazione dei valori determinati.

Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- identificazione completa del campione sottoposto a prova;
- descrizione litologica del campione;

- dimensioni dei provini sottoposti a prova e tolleranze geometriche;
 - tabella con i valori del carico di rottura rilevato e della resistenza a trazione calcolata per ciascun provino;
 - valore medio della resistenza a trazione indiretta, deviazione standard e coefficiente di variazione;
 - copia del certificato di taratura degli strumenti di misura e controllo (comparatori centesimali, manometri, trasduttori di pressione), non antecedente di sei mesi la data di prova.
- Per le generiche indicazioni sulla documentazione da consegnare e per le modalità di consegna vedi l'art. 1.10 del presente disciplinare.

I Progettisti

Ing. Michele Cottu

Ing. Francesco Caturano